



KEMENTERIAN
ALAM SEKITAR DAN AIR
Ministry of Environment and Water

**MALAYSIAN METEOROLOGICAL DEPARTMENT
MINISTRY OF ENVIRONMENT AND WATER**

Technical Note No. 1/2022

**Peningkatan Model Ramalan Cuaca Numerikal
dari 3-Hari Ke hadapan dengan Resolusi 4km
kepada 4-Hari Ke hadapan dengan Resolusi 3km
bagi Seluruh Malaysia**

Muhamad Sofian Muhamad Yusof

TECHNICAL NOTE NO. 1/2022

Peningkatan Model Ramalan Cuaca Numerikal
dari 3-Hari Kehadapan dengan Resolusi 4km
kepada 4-Hari Kehadapan dengan Resolusi 3km
bagi Seluruh Malaysia

By
Muhamad Sofian Muhamad Yusof

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced in any form, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise without the prior written permission of the publisher.

Perpustakaan Negara Malaysia

Data Pengkatalogan-dalam-Penerbitan

Muhamad Sofian Muhamad Yusof, 1982-

Peningkatan Model Ramalan Cuaca Numerikal dari 3-Hari Kehadapan dengan Resolusi 4km kepada 4-Hari Kehadapan dengan Resolusi 3km bagi Seluruh Malaysia. Technical Note No. 1/2022. / By Muhamad Sofian Muhamad Yusof.

ISBN 978-967-2327-08-0

1. Weather forecasting--Malaysia.
2. Government publications--Malaysia.

I. Judul.

551.6595

Published and printed by:
Jabatan Meteorologi Malaysia
Jalan Sultan
46667 Petaling Jaya
Selangor Darul Ehsan
Malaysia

Kandungan

No.	Subjek	Halaman
	Abstrak	
1.	Pengenalan	1
2.	Metodologi	3
	2.1 Muat turun data input	6
	2.2 Pemilihan domain	8
	2.3 Pemilihan Langkah masa	13
	2.4 Penetapan senarai pilihan	14
3.	Kesimpulan	18
4.	LAMPIRAN A: Fail Senarai Opsyen (namelist.wps)	20
5.	LAMPIRAN B: Fail Senarai Opsyen (namelist.input)	21
6.	LAMPIRAN C: Maklumat Data Sempadan dan Permulaan	24
7.	LAMPIRAN D: Carta Alir Muat Turun Data Secara Bersiri	25
8.	LAMPIRAN E: Carta Alir Muat Turun Data Secara Serentak	26
9.	LAMPIRAN F: Skrip Linux dalam cengkerang Bash yang dihantar sebagai proses latar belakang menggunakan PBS Pro (Nama Fail : download.pbs)	27
10.	LAMPIRAN G: Skrip cengkerang Bash yang menghantar proses-proses muat turun secara serentak dalam mod latar belakang (Nama Fail : main,bsh)	28
11.	LAMPIRAN H: Perbandingan masa muat turun data input menggunakan kaedah bersiri (lama) dengan kaedah serentak (baru)	32
12.	LAMPIRAN I: Konfigurasi Domain	33
13.	LAMPIRAN J: Sampel Output WRF (Jumlah Hujan Terkumpul dalam 1 Jam)	34
14.	LAMPIRAN K: Spesifikasi HPC (SGI ALTIX 4700)	35
15.	Senarai Rujukan	36

Peningkatan Model Ramalan Cuaca Numerikal dari 3-Hari Ke hadapan dengan Resolusi 4km kepada 4-Hari Ke hadapan dengan Resolusi 3km bagi Seluruh Malaysia

Muhamad Sofian Muhamad Yusof

ABSTRAK

Jabatan Meteorologi Malaysia (METMalaysia) telah menjalankan model ramalan cuaca numerikal (NWP – *Numerical Weather Prediction*) sejak tahun 2008 menggunakan sistem NWP berskala meso yang dikenali sebagai *Weather Research and Forecasting* (WRF). Sistem ini telah dibangunkan sejak 1990-an secara bersama oleh beberapa institusi awam di Amerika Syarikat (AS) iaitu *National Center of Atmospheric Research* (NCAR), *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), *U.S Air Force*, *Naval Research Laboratory*, *University of Oklahoma*, dan *Federal Aviation and Administration* (FAA). Walaupun begitu, sistem WRF ini tidak sahaja digunakan di AS tetapi juga digunakan oleh badan meteorologi atau institusi penyelidikan di negara-negara lain. Penggunaan meluas WRF ini adalah hasil daripada sokongan yang kuat dari NCAR melalui penganjuran bengkel-bengkel yang diadakan saban tahun.¹

1. PENGENALAN

Model WRF adalah suatu sistem ramalan cuaca numerikal serantau yang dihasilkan bagi kegunaan kajian atmosfera dan operasi ramalan cuaca. Model ini boleh digunakan dalam pelbagai aplikasi meteorologi yang berskala meso sehingga kepada yang berskala global. Usaha untuk membangunkan model WRF bermula sejak 1990-an dan merupakan kerjasama antara agensi-agensi berkaitan di Amerika Syarikat iaitu *National Center for Atmospheric Research (NCAR)*, *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*, *Tentera Udara A.S.*, *Naval Research Laboratory*, *University of Oklahoma* dan *Federal Aviation Administration (FAA)*.

National Center of Environmental Prediction (NCEP) yang merupakan agensi dibawah NOAA, telah menjalankan model WRF ini secara operasi dan diikuti oleh pusat-pusat meteorologi nasional di serata dunia. Ini tidak menghairankan kerana model WRF mempunyai ribuan pengguna berdaftar dari seluruh dunia hasil dari bengkel dan tutorial yang kerap kali dianjurkan oleh NCAR saban tahun. Pengguna juga tidak dikenakan sebarang bayaran untuk mendapatkan kod sumber bagi model WRF sebaliknya hanya perlu mendaftar di laman sesawang khas iaitu <https://www2.mmm.ucar.edu> bagi tujuan tersebut. Cuma apa yang perlu diambil kira oleh pengguna ialah kos perkakasan yang diperlukan untuk menjalankan model WRF ini terutamanya bagi tujuan operasi.²

METMalaysia sebagai pusat meteorologi nasional di Malaysia bertanggungjawab dalam membekalkan ramalan cuaca yang berkualiti dan tepat sejajar dengan perkembangan teknologi terkini demi kepentingan umum. Oleh yang demikian, METMalaysia telah menjalankan model WRF secara operasi dengan menggunakan sistem pengkomputeran berprestasi tinggi atau juga dikenali sebagai *High Performance Computing (HPC)* yang melibatkan kos yang agak tinggi bagi memperolehi dan menyelenggara sistem ini. Namun demikian, ini bukanlah bermaksud sistem komputer biasa tidak mampu menjalankan WRF, sebaliknya ia masih boleh dijalankan cuma pada kelajuan yang lebih perlahan dan hanya sesuai untuk mod kajian sahaja serta tidak praktikal untuk tujuan operasi. Pada tahun 2008,

METMalaysia telah berjaya mendapatkan sebuah sistem HPC yang berkapisiti 256 teras pemprosesan bagi tujuan pengoperasian ramalan cuaca berangka menggunakan model WRF. Dengan menggunakan HPC ini, METMalaysia telah berjaya menjalankan ramalan cuaca berangka sehingga tiga hari kehadapan dengan resolusi terkecil 4km.

Perjalanan model WRF di METMalaysia memerlukan data input dari model ramalan cuaca numerikal global iaitu *Global Forecasting System* (GFS) yang dijalankan secara operasi oleh NOAA. Ianya merupakan model NWP yang boleh meramal cuaca global dengan resolusi yang lebih besar berbanding model NWP serantau seperti WRF. Data GFS ini boleh dimuat turun melalui internet tanpa sebarang caj. Setiap kali sebelum model WRF dijalankan di METMalaysia, data GFS ini akan dimuat turun terlebih dahulu. Sebelum peningkatan model ramalan cuaca numerical ini dilakukan, METMalaysia memuat turun data GFS pada resolusi 0.5° sebagai input kepada sistem WRF.

Pada awal 2014, NCAR telah memberi akses melalui internet kepada data GFS beresolusi 0.25° bagi capaian umum. Perkembangan ini membolehkan METMalaysia menggunakan set data baru ini sebagai input kepada model WRF bagi menjalankan ramalan cuaca sehingga ke resolusi 3km dengan kapasiti komputasi sedia ada. Selain itu, METMalaysia juga telah berjaya menambah bilangan hari ramalan cuaca iaitu dari tiga kepada empat hari. Ini mampu dicapai kerana ketersediaan sumber komputasi tambahan disebabkan pengurangan domain dari tiga kepada hanya dua domain sahaja.

2. METODOLOGI

Sistem ramalan cuaca numerikal WRF terbahagi kepada dua bahagian iaitu pra-permprosesan data input dan penjanaan ramalan cuaca numerikal. Bahagian pertama iaitu pra-permprosesan terdiri daripada program “geogrid”, “ungrib” dan “metgrid” manakala bahagian kedua pula mengandungi program “real” dan “wrf”.³

Fungsi program “geogrid” adalah mentakrifkan domain bagi simulasi, dan menginterpolasikan data-data daratan kepada grid-grid domain model WRF. Domain simulasi ialah kawasan liputan ramalan cuaca numerikal yang ditetapkan pengguna dan ditakrifkan didalam fail senarai pilihan yang dinamakan “namelist.wps” seperti contoh di **LAMPIRAN A**. Program ini akan menghitung latitud, longitud dan faktor skala peta bagi setiap titik grid serta menginterpolasikan data-data daratan ke dalam grid domain. Data daratan ini adalah seperti data kategori dan penggunaan tanah, ketinggian muka bumi, suhu purata tahunan tanah dalam, pecahan tumbuh-tumbuhan, nilai albedo permukaan bumi serta kategori kecerunan tanah tinggi. Selain fail “namelist.wps”, program “geogrid” juga akan membaca fail teks “GEOGRID.TBL” yang terkandung maklumat tambahan bagi setiap parameter statik yang dinyatakan di atas seperti kaedah interpolasi, lokasi simpanan data dan lain-lain. Output dari program ini adalah dalam format NetCDF dan dapat dibaca menggunakan perisian seperti ncview dan NCL (*NCAR Command Language*). Program ini tidak perlu dijalankan setiap kali kitaran perjalanan model kerana data daratan tidak berubah dengan kerap. Ianya hanya perlu dijalankan sekiranya terdapat perubahan besar kepada data daratan, contohnya perubahan drastik bentuk muka bumi. Fail “GEOGRID.TBL” ini turut disediakan bersama pakej perisian WRF dan semua maklumat lanjut boleh dirujuk di laman web pendidikan NCAR (<https://www2.mmm.ucar.edu/>)

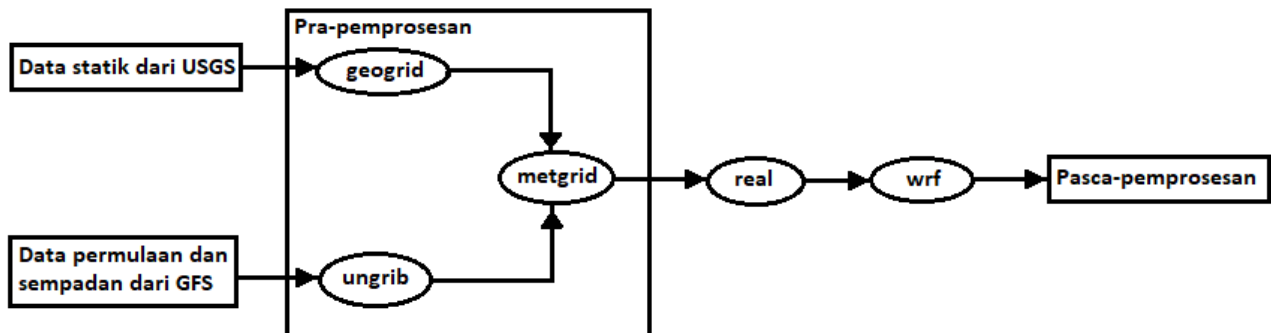
Program pra-pemprosesan yang kedua pula adalah “ungrib” yang menukarkan format GRIB data permulaan kepada format perantaraan yang lebih mudah dan boleh dibaca terus oleh program utama WRF. Mana-mana data permulaan dari global model yang berformat GRIB1 atau GRIB2 dapat diproses oleh program ini. Program

“ungrib” ini juga menggunakan jadual yang dinamakan “Vtable” bagi mengenalpasti data-data yang perlu ditukarkan kepada format perantaraan kerana selalunya data permulaan turut mengandungi data-data lain yang tidak diperlukan dalam ramalan cuaca numerikal. Program ini perlu dijalankan setiap kali data permulaan baru dimuat turun.

Langkah terakhir dalam pra-pemprosesan WRF adalah menginterpolasikan data-data meteorologi yang telah diekstrak oleh program “ungrib” ke dalam domain yang telah disediakan oleh program “geogrid”. Tugas ini akan dijalankan setiap kali kitaran perjalan model WRF oleh program yang dinamakan “metgrid”. Program ini akan merujuk kepada satu fail yang dinamakan “METGRID.TBL” dimana ianya mengandungi kaedah penginterpolasian data dan perincian lain mengenai data tersebut. Fail METGRID.TBL, GEOGRID.TBL dan Vtable adalah tersedia bersama perisian WRF dan tidak perlu diubah jika pengguna menggunakan data permulaan dan sempadan dari global model yang disarankan seperti GFS.

Peringkat terpenting dalam sistem WRF adalah penjana ramalan cuaca numerikal yang terdiri dari program “real” dan “wrf”. Kedua-dua program ini menggunakan hampir keseluruhan sumber komputasi terutamanya program “wrf”. Sebelum peringkat ini dijalankan, satu fail senarai pilihan yang dinamakan “namelist.input” perlu disediakan seperti di **LAMPIRAN B**. Fail ini mengandungi tarikh mula dan akhir ramalan cuaca, maklumat domain dan opsyen-opsyen penting yang lain. Program “real” berperanan memproses data output dari program “metgrid” dengan menginterpolasikan data-data setiap aras kepada sistem koordinat menegak model sebelum digunakan sebagai data permulaan dan sempadan bagi program “wrf”. Program “real” ini menggunakan sumber komputasi yang agak banyak dan disaran untuk dijalankan secara proses agihan memori yang akan memecahkan proses pengiraan yang besar kepada bahagian kecil untuk dijalankan secara serentak. Setelah selesai perjalanan program ini, program “wrf” akan mengambil data yang dihasilkan oleh program “real” sebagai input dan seterusnya menghitung nilai parameter-parameter ramalan cuaca sehingga ke tempoh yang ditetapkan. Ianya merupakan suatu proses yang berintensifkan sumber dan turut dijalankan secara proses agihan

memori. Ini selalunya dijalankan menggunakan protokol komunikasi MPI (Antara muka Pengedaran Pesanan atau *Message Passing Interface*) dalam HPC.



Gambarajah 1 : Aliran perjalanan model cuaca numerikal WRF. Pasca-pemprosesan merupakan proses memplot data output model kepada bentuk grafik dan mudah difahami pengguna.

Penambahbaikan operasi perjalanan model WRF bukanlah suatu proses yang mudah. Terdapat beberapa perkara yang menjadi cabaran sebelum penambahbaikan terhadap perjalanan operasi model WRF dapat dijalankan. Cabaran-cabaran tersebut adalah:

1. Memuat turun data input
2. Pemilihan domain yang sesuai
3. Pemilihan langkah-masa
4. Tetapan senarai pilihan

2.1 Muat turun data input

Cabaran pertama adalah memuat turun data input yang terdiri daripada data-data permulaan dan sempadan dari model GFS yang beresolusi 0.25° . Saiz data-data ini adalah tiga kali ganda dari data permulaan yang digunakan sebelum ini. Data-data input ini mestilah mempunyai parameter cuaca yang penting dalam ramalan cuaca terutamanya angin, suhu, kelembapan dan tekanan. Ianya perlu dimuat turun dalam 2 kitaran, iaitu pada 00:00 UTC dan 12:00 UTC (kitaran 8:00 pagi dan 8:00 malam waktu tempatan). Dalam satu kitaran, terdapat sebanyak 17 fail data yang perlu dimuat turun dengan jumlah saiz sehingga 4.5GB. Format data adalah dalam bentuk GRIB, yang merupakan singkatan dari perkataan "*Gridded Binary*". Format ini digunakan secara meluas dalam penyimpanan dan pemindahan data meteorologi di serata dunia. Pertubuhan Meteorologi Sedunia (*World Meteorological Organization - WMO*) juga telah mengeluarkan panduan bagi format data ini dan boleh didapati dengan melayari laman web WMO ataupun menggunakan carian internet.⁴ Maklumat data boleh dirujuk di **LAMPIRAN C**.

Dalam kaedah asal, data permulaan dimuat turun satu per satu sebelum model WRF dapat dijalankan. Ini bermaksud data seterusnya akan mula dimuat turun hanya setelah data sebelumnya selesai dimuat turun seperti yang ditunjukkan dalam carta alir di **LAMPIRAN D**. Purata masa untuk memuat turun keseluruhan set data ini adalah lebih kurang 2 jam. Bagi set data baru pula, anggaran masa muat turun yang akan diambil adalah lebih kurang 6 jam kerana saiznya yang 3 kali lebih besar berbanding set data yang lama. Tempoh ini tidak praktikal secara operasi kerana akan melambatkan tempoh keseluruhan perjalanan model WRF. Oleh yang demikian, satu kaedah baru muat turun data perlu dicipta supaya masa dapat dijimatkan dan lebih praktikal.

Bagi menjimatkan masa muat turun data, satu skrip pengkomputeran baru telah dibina supaya semua data dapat dimuat turun secara serentak dan bukannya satu per satu. Carta alir bagi kaedah baru ini ditunjukkan seperti di **LAMPIRAN E**. Melalui kaedah ini, setiap proses muat turun data perlulah dihantar dalam mod latar belakang

dan bukannya secara terus seperti sebelumnya. Proses latar belakang membolehkan proses atau kerja seterusnya dijalankan tanpa menunggu kerja terdahulunya selesai. Walaubagaimanapun, proses latar belakang tidak mudah dijejaki berbanding proses secara terus atau latar depan. Terdapat beberapa cara untuk menghantar kerja ke dalam mod latar belakang. Dalam operasi NWP di METMalaysia, kerja latar belakang di hantar menggunakan perisian *Portable Batch System Professional* (PBS Pro). Kelebihan utama penggunaan PBS Pro adalah pengoptimasian penggunaan sumber komputasi. Selain itu, perisian ini juga memudahkan penjejakan proses yang dijalankan secara latar belakang. Ianya dilakukan dengan memberikan nombor id yang unik kepada setiap kerja dalam mod latar belakang yang dihantarnya. Melalui nombor id ini, kerja latar belakang dapat di jejak dan seterusnya memudahkan pemantauan status siap kerja tersebut. PBS Pro juga boleh menetapkan aturan untuk dua atau lebih kerja yang bergantung di antara satu sama lain. Sebagai contoh, perisian PBS Pro digunakan untuk menjalankan model WRF yang bergantung kepada status selesai kerja muat turun data permulaan dan sempadan serta mestilah dijalankan hanya setelah kerja muat turun selesai dengan jayanya. **LAMPIRAN F** menunjukkan skrip pengkomputeran Linux dalam cengkerang Bash (*Bourne-Again Shell*) yang dibina bagi memuat turun data secara serentak. Barisan pertama hingga ketiga merupakan arahan supaya skrip ini perlu dihantar melalui perisian PBS Pro. Skrip ini menggunakan arahan “wget” (barisan ke-12) untuk memuat turun data dari internet.

Skrip cengkerang utama bagi menjalankan skrip muat turun (**LAMPIRAN F**) boleh dirujuk di **LAMPIRAN G**. Skrip utama ini akan menggunakan gegelung “while” (barisan 70-126) untuk menjalankan skrip muat turun secara mod latar belakang supaya ianya dijalankan berturutan dan serentak. Gegelung “while” ini akan terus cuba menjalankan skrip muat turun data sehingga semua data dimuat turun atau sehingga melepasi 24 jam tempoh percubaan (barisan 120-124). Semasa proses muat turun sedang berjalan, skrip utama akan memeriksa jumlah saiz untuk semua data yang sedang dimuat turun dan membandingkannya dengan jumlah saiz pada minit berikutnya (barisan 132-139). Proses muat turun dianggap selesai sekiranya jumlah

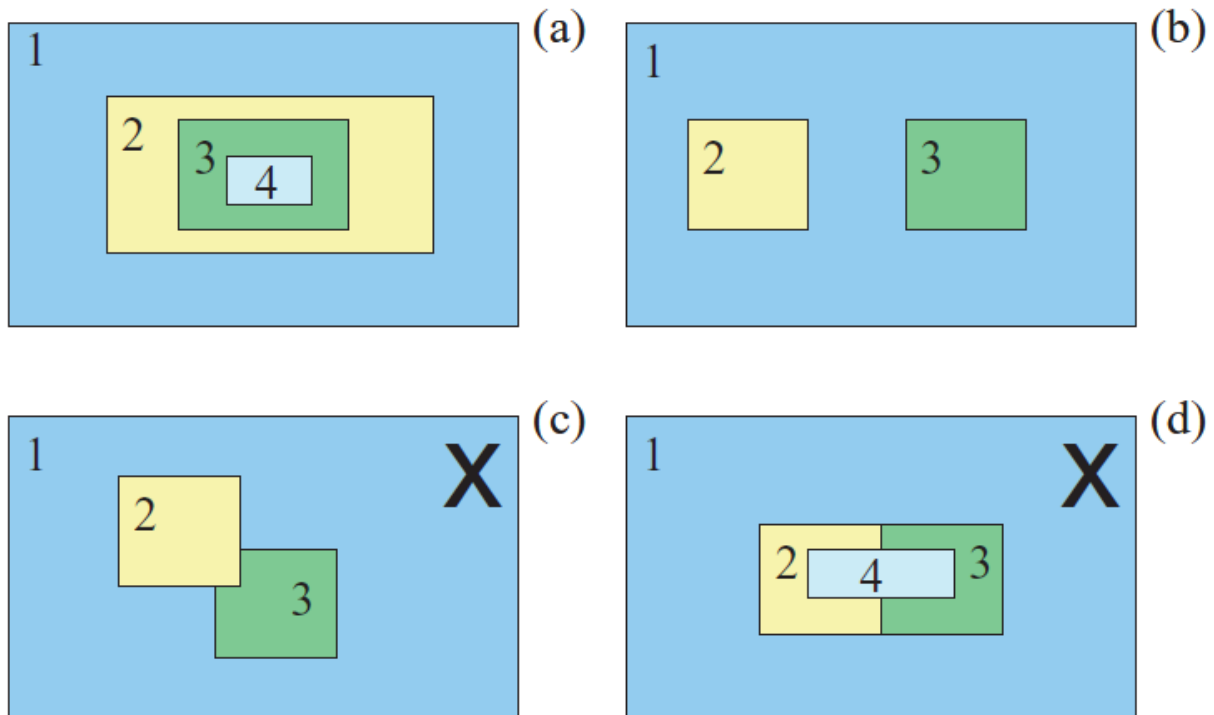
saiz antara selang masa 1 minit ini sama. Langkah ini penting bagi mengelakkan model WRF dijalankan sebelum semua data selesai dimuat turun.

Perbandingan kelajuan muat turun antara kedua-dua kaedah telah diuji antara 1 sehingga 14 Ogos 2014 dan boleh dirujuk di **LAMPIRAN H**. Berdasarkan lampiran tersebut, boleh disimpulkan bahawa kaedah muat turun baru ini lebih baik berbanding kaedah yang lama dimana tempoh masa muat turun data telah dijimatkan sehingga 90%. Ini kerana kaedah baru tersebut telah mengoptimasikan penggunaan jalur lebar dengan kapasiti sedia ada terutamanya semasa tempoh sambungan yang stabil. Sebenarnya, kelajuan muat turun boleh berbeza mengikut masa walaupun terdapat sambungan jalur lebar yang khusus. Keadaan ini mungkin disebabkan oleh kesesakan pada rangkaian internet tempatan itu sendiri atau pada pelayan yang menyimpan data tersebut. Kaedah muat turun secara serentak akan menghadkan pendedahan kepada tempoh dimana kadar muat turun tiba-tiba menjadi perlahan. Skrip pengkomputeran yang baru ini juga boleh dijalankan pada bila-bila masa dan tidak perlu menunggu ketersediaan semua data di pelayan berbanding skrip sebelum ini. Maka dengan itu, tempoh 24 jam akan diperuntukkan bagi memuat turun data yang masih tidak tersedia di pelayan. Ini membantu dalam menjimatkan lagi tempoh muat turun data dimana data yang telah tersedia dimuat turun dahulu tanpa perlu menunggu semua data tersedia di pelayan.

2.2 Pemilihan domain

Sebelum menjalankan model WRF, tetapan domain perlu dilakukan terlebih dahulu mengikut peraturan-peraturan praktikal yang ditetapkan. Domain disini bermaksud kawasan terpilih untuk ramalan cuaca dilakukan. Pemilihan domain hendaklah dilakukan dengan mengambil kira kemampuan komputasi sedia ada untuk menjana ramalan cuaca numerikal mengikut luas dan resolusi terkecil domain serta tempoh ramalan cuaca yang diinginkan. Model WRF membenarkan lebih dari satu tetapan domain yang sama ataupun berlainan resolusi. Walaubagaimanapun domain

yang sebahagiannya bertindih antara satu sama lain adalah tidak dibenarkan. Domain yang lebih kecil juga hendaklah bersarang dalam satu domain yang lebih besar. **Gambarajah 2** menunjukkan secara lebih terperinci tentang tetapan domain yang dibenarkan.

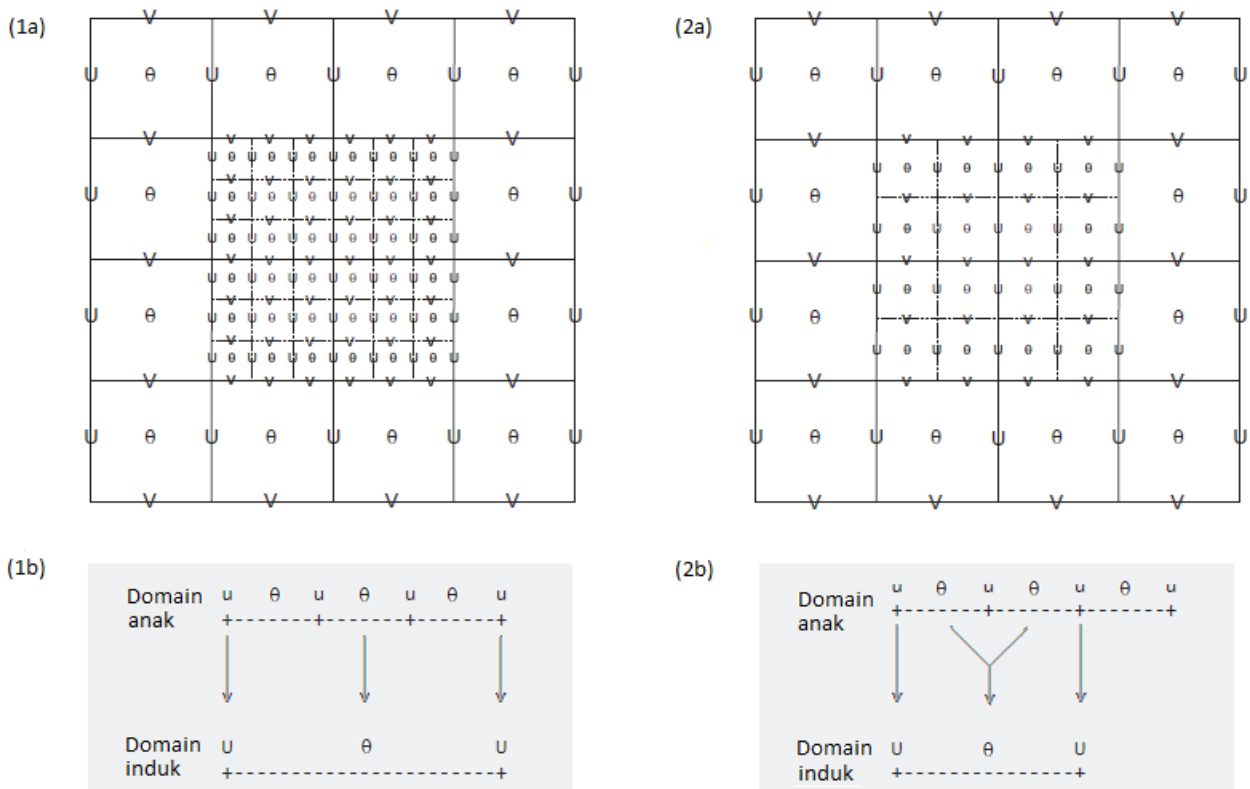


Gambarajah 2 : (a) Domain bersarang dimana domain yang beresolusi lebih kecil bersarang di dalam domain yang beresolusi lebih besar. (b) Dua domain beresolusi sama yang tidak bertindih. (c) Dua domain beresolusi sama yang sebahagiannya bertindih antara satu sama lain. (d) Domain beresolusi lebih kecil bersarang dalam dua domain beresolusi lebih besar. Model WRF hanya membenarkan tetapan domain (a) dan (b) sahaja, manakala (c) dan (d) adalah tidak dibenarkan.

Penetapan domain selalunya dimulai dengan domain luar yang paling besar resolusinya. Domain luar ini sebaik-baiknya mempunyai ketinggian resolusi tiga kali ganda dari data permulaan. Domain yang mempunyai resolusi lebih kecil, atau dinamakan domain anak, akan diletakkan atau disarangkan di dalam domain luar ini. Oleh sebab itu, domain luar juga boleh dipanggil sebagai domain induk. Perbezaan resolusi antara domain induk dan domain anak ini seharusnya dalam nisbah hampir

atau menyamai 3:1. Sebagai contoh, sekiranya menggunakan data permulaan dari GFS yang beresolusi 0.5° iaitu menghampiri 60km, maka domain induk boleh ditetapkan dengan resolusi 30km dan domain anak yang bersarang di dalamnya pula 10km. Nisbah ganjil ini bertujuan meningkatkan ketepatan dan kecekapan peralihan data di sempadan antara domain induk dan domain anak terutamanya bagi maklumbalas sesarang dua hala.⁵

Domain induk berperanan membekalkan syarat sempadan kepada domain anak dimana data domain induk akan diinterpolasi di sepanjang sempadan domain anak. Maklumbalas satu hala ini dinamakan sesarang satu hala. Maklumbalas atau sesarang dua hala juga boleh terjadi sekiranya domain anak dibenarkan untuk mengganti data domain induk bagi mengekalkan kesinambungan data di sempadan. Resolusi domain induk dan anak yang bernisbah ganjil mempunyai kelebihan dalam maklum balas dua hala. Ini kerana terdapat perkongsian titik-titik grid di sempadan antara domain induk dan anak yang dapat mengurangkan masa pengiraan. Bagi domain induk dan anak yang bernisbah genap, pengiraan purata terhadap titik-titik grid domain anak perlu dilakukan sebelum maklum balas kepada domain induk dilakukan. **Gambarajah 3** menunjukkan perbezaan nisbah domain yang ganjil dan genap secara lebih terperinci.



Gambarajah 3 : Perbandingan antara domain dengan nisbah genap dan ganjil. U dan V adalah parameter vektor seperti angin manakala θ adalah parameter skalar seperti suhu. Grid dengan susunan parameter seperti ini dinamakan grid berperingkat Arakawa-C. (1a) Resolusi domain induk dan anak dengan nisbah ganjil 3:1. (1b) Titik-titik grid bertindihan di sempadan antara domain induk dan anak yang mempunyai nisbah ganjil. (2a) Resolusi domain induk dan anak dengan nisbah genap 2:1. (2b) Terdapat titik-titik yang tidak bertindihan di sempadan antara domain induk dan anak yang mempunyai nisbah genap.

Perbandingan antara tetapan domain lama dan domain baru boleh dilihat di **LAMPIRAN I**. Tetapan lama mempunyai empat domain dengan domain terbesar beresolusi 36km, diikuti dengan domain ke-2 terbesar, 12km, dan dua domain beresolusi paling kecil, 4km. Domain terbesar ini mempunyai resolusi lebih dari satu kali ganda tinggi berbanding resolusi data input yang digunakan iaitu dalam 56km atau 0.5° . Manakala bagi tetapan domain baru yang menggunakan data input beresolusi lebih kurang 28km atau 0.25° , jumlah domain yang ditetapkan hanya tiga

dimana domain terbesar beresolusi 9km dan dua domain anak yang masing-masing beresolusi 3km. Domain terbesar dalam tetapan domain baru dipilih hampir menyamai domain ke-2 terbesar dalam tetapan domain lama. Ini bagi mengekalkan kawasan ramalan cuaca dan dalam masa yang sama meminimalkan masa perjalanan model yang akan bertambah disebabkan penambahan resolusi dan luas domain. Selain itu, domain anak dalam tetapan baru juga ditetapkan hampir sama dengan domain anak dalam tetapan lama atas alasan yang serupa. Dua domain anak ini masing-masing meliputi semenanjung Malaysia dan Sabah/Sarawak. Tambahan pula, data input GFS yang digunakan dalam tetapan baru ini mempunyai resolusi lebih kecil berbanding resolusi domain terbesar dalam tetapan lama. Ini bermaksud ramalan cuaca di dalam domain lama tersebut boleh diwakili oleh ramalan cuaca dari model global GFS yang beresolusi 28km. Tetapan domain baru ini secara tidak langsung telah menjimatkan sumber komputasi yang membolehkan ramalan cuaca dijalankan sehingga empat hari ke hadapan. Ini kerana, pengiraan yang melibatkan penggunaan sumber komputasi yang tinggi iaitu maklum balas sesarang dua hala telah dikurangkan kepada dua domain sahaja berbanding tiga domain dalam tetapan lama.

Langkah seterusnya adalah menyediakan data statik atau daratan berdasarkan domain yang telah ditetapkan. Data statik ini adalah data yang mengandungi maklumat daratan seperti ketinggian topografi, liputan jenis-jenis tumbuhan, badan air dan pelbagai lagi. Data ini selalunya tidak berubah secara mendadak setiap hari dan cenderung untuk kekal dalam tempoh yang lama. Meskipun begitu, data-data ini penting dalam model NWP kerana ianya mampu mempengaruhi corak taburan hujan di daratan. Oleh yang demikian, NCAR telah menyediakan akses kepada data daratan cerapan satelit yang telah diproses oleh *United States Geological Survey* (USGS) dan boleh didapati melalui laman web rasmi model WRF. Pengguna juga boleh menggunakan data statik dari sumber lain bagi menggantikan data dari USGS ini sekiranya ada.

Langkah akhir dalam penyediaan domain ialah dengan menjalankan program “geogrid” yang termasuk didalam pakej perisian model WRF. Program ini akan

menginterpolasikan data-data daratan ke domain yang telah ditetapkan. Maklumat terperinci berkenaan cara menjalankan program ini boleh diperolehi secara dalam talian dengan melayari laman web pendidikan NCAR (https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3/users_guide_chap3.htm).

Perbandingan bilangan titik-titik grid antara domain baru dan lama turut dipaparkan didalam **LAMPIRAN I**. Merujuk kepada lampiran tersebut, walaupun kekurangan jumlah domain, masih terdapat penambahan dalam bilangan titik-titik grid bagi tetapan domain baru jika dibandingkan dengan yang lama disebabkan oleh penambahan resolusi.

2.3 Pemilihan langkah-masa

Penjanaan ramalan cuaca numerikal melibatkan penyelesaian bagi persamaan matematik yang dinamakan persamaan Navier-Stokes. Persamaan ini secara amnya menghuraikan pergerakan bendalir yang disebabkan daya-daya yang bertindak keatasnya seperti daya perbezaan tekanan, daya gravity dan daya geseran.⁶ Persamaan ini berbentuk pembezaan separa dan hanya boleh diselesaikan dengan mudah melalui kaedah numerikal. Didalam setiap penyelesaian persamaan seperti ini, pemilihan langkah-masa merupakan perkara yang perlu dititikberatkan. Langkah-masa yang sesuai dapat menjamin kestabilan dan penumpuan bagi penyelesaian algoritma. Begitu juga dengan model WRF, dimana NCAR telah menetapkan peraturan praktikal bagi langkah-masa yang sesuai iaitu:

$$\Delta t = 6 \times \Delta x \quad [1]$$

Dimana Δt adalah langkah-masa dalam unit saat dan Δx adalah resolusi terkecil domain dalam unit kilometer. Mengikut persamaan diatas, langkah-masa dalam saat haruslah enam kali ganda daripada resolusi terkecil domain dalam kilometer. Sebagai contoh, langkah-masa untuk tetapan domain baru ini adalah 18 saat kerana resolusi

terkecil domain ialah 3km.

Satu lagi parameter mustahak yang perlu ditekankan adalah nombor kriteria Courant-Friderichs-Lewy (CFL) yang mempunyai definasi seperti berikut:

$$C = u \Delta t / \Delta x \quad [2]$$

Dimana C adalah nombor CFL, u adalah magnitud halaju maksimum yang dijangka dalam simulasi, Δt adalah langkah-masa manakala Δx adalah resolusi grid. Secara prinsipnya nombor ini menyatakan jarak perjalanan bagi gelombang dalam tempoh langkah-masa di dalam suatu jaringan grid mestilah lebih kurang dengan jarak resolusi grid. Dengan kata lainnya, gelombang dari satu petak grid hanya boleh tiba ke grid bersebelahan sahaja dan tidak terlalu jauh dari itu bagi tempoh langkah-masa yang ditetapkan. Nilai nombor CFL dalam tetapan domain baru dikekalkan seperti tetapan domain lama iaitu 1.2 yang merupakan nilai yang disarankan oleh NCAR. Sekiranya nilai CFL yang dikira semasa perjalanan model WRF melebihi nilai yang disarankan ini, model akan menambah tempoh langkah-masa bagi mengekalkan kestabilan perjalanan model. Penetapan langkah-masa mengikut formula [1] dan nombor CFL mengikut formula [2] diterangkan secara lebih terperinci didalam nota teknikal NCAR yang bertajuk “*A Description of the Advanced Research WRF Version 3*” yang boleh didapati melalui pautan laman web pendidikan NCAR.⁷

2.4 Penetapan senarai pilihan

Sebelum model WRF dapat dijalankan, terdapat dua senarai pilihan yang perlu diubahsuai mengikut kesesuaian pengguna. Dua senarai tersebut merupakan fail teks yang dinamakan “*namelist.wps*” dan “*namelist.input*” seperti yang disebutkan sebelum ini. Fail “*namelist.wps*” diperlukan semasa peringkat pra-pemprosesan data dimana data-data statik dan permulaan akan diinterpolasikan sesuai mengikut domain-domain yang telah ditetapkan. Manakala fail “*namelist.input*” pula

diperlukan semasa peringkat penjanaian simulasi ramalan cuaca oleh dua program yang dinamakan “real” dan perisian utama dalam WRF iaitu “wrf”.

Dalam fail “namelist.wps” terdapat empat bahagian yang mengandungi maklumat-maklumat tertentu. Bahagian pertama dinamakan “share” yang mengandungi maklumat tarikh mula dan akhir ramalan cuaca dimana tarikh ini mestilah sama dengan tarikh pada data-data permulaan dan sempadan. Selain itu terkandung juga maklumat selang masa data input ini, jumlah bilangan domain, format data, lokasi data statik dan teras WRF. Bahagian ini diperlukan oleh ketiga-tiga program dalam peringkat pra-pemprosesan iaitu “geogrid”, “ungrib” dan “metgrid”. Bahagian-bahagian seterusnya dinamakan sempena nama program yang memerlukan informasi dalam bahagian tersebut. Penerangan lanjut tentang fail ini juga boleh dirujuk di **LAMPIRAN A**

Satu lagi senarai pilihan yang perlu ada sebelum model dijalankan adalah “namelist.input”. Fail ini diperlukan oleh program “real” dan “wrf” untuk mendapatkan tarikh mula dan akhir ramalan cuaca dan juga maklumat-maklumat lain. Ianya terbahagi kepada enam bahagian yang penting iaitu “time_control”, “domains”, “physics”, “dynamics”, “bdy_control” dan “namelist_quilt”. Secara umumnya, bahagian “time_control” mengandungi maklumat masa mula dan akhir ramalan cuaca, bahagian “domain” pula terdapat maklumat tentang domain-domain manakala bahagian “physics” dan “dynamics” masing-masing menyimpan informasi mengenai pemilihan parameter fizik dan dinamik yang sesuai.

Parameter yang mewakili tarikh mula dan akhir ramalan cuaca seperti “start_day”, “end_day” dan lain-lain dalam fail “namelist.input” perlu diubah mengikut tarikh yang tepat sebelum model WRF dijalankan. Begitu juga parameter “start_date” dan “end_date” dalam fail “namelist.wps”. Bagi mengautomasikan perjalanan model WRF, satu skrip pengkomputeran Linux perlu dibina untuk menukar secara automatik parameter-parameter tarikh ini. Parameter-parameter lain dalam fail “namelist.input” dan “namelist.wps” hanya perlu ditetapkan sekali sahaja.

Definisi domain-domain yang ditetapkan boleh dilihat dalam bahagian “geogrid” dalam fail “namelist.wps” dan bahagian “domain” dalam fail

“namelist.input”. Secara amnya kedua-dua bahagian ini mengandungi beberapa parameter yang sama seperti “parent_id”, “parent_grid_ratio”, “i_parent_start”, “j_parent_start”, “e_we”, “e_sn”, “dx” dan “dy”. Namun begitu, fail “namelist.wps” mempunyai parameter yang lain dalam pendefinisan domain iaitu “map_proj”, “ref_lat”, “ref_lon”, “truelat1”, “truelat2”, “stand_lon”, “ref_x” dan “ref_y”. Ini kerana penyediaan domain dilakukan pada peringkat pra-pemprosesan iaitu program “geogrid” yang memerlukan fail “namelist.wps”. Parameter-parameter ini boleh ditetapkan secara pengiraan manual oleh pengguna atau menggunakan perisian khas yang dinamakan “WRF Domain Wizard” yang boleh menetapkan nilai-nilai ini secara automatik. Perisian ini boleh dipelajari secara dalam talian dan dimuat turun melalui laman web <https://esrl.noaa.gov/gsd/wrfportal/DomainWizard.html>.

Bilangan aras bagi koordinat menegak domain-domain yang telah ditetapkan adalah sebanyak 32 aras dan ditakrifkan melalui parameter “e_vert” dalam fail “namelist.input”. Setiap domain haruslah mempunyai jumlah aras menegak yang sama walaupun mempunyai resolusi mendatar yang berlainan. Ini bagi memastikan kesinambungan dalam pergerakan menegak gelombang dan memudahkan proses pengiraan. Bilangan ini adalah sama dengan tetapan sebelumnya bagi mengekalkan kestabilan perjalanan model dan penjimatan sumber komputasi.

Didalam fail “namelist.input” juga terdapat bahagian “physics” yang menentukan opsyen fizikal atau juga dipanggil parameterisasi yang akan dipilih seperti parameterisasi kumulus, mikrofizikal, lapisan sempadan planet dan radiasi gelombang pendek serta panjang. Semua parameterisasi ini dipilih berdasarkan rekomendasi oleh NCAR untuk kawasan tropikal dan dikekalkan seperti tetapan sebelum ini.⁸ **Jadual 1** menunjukkan opsyen yang dipilih bagi setiap parameterisasi fizik yang dimaksudkan. Parameterisasi fizik merupakan kaedah untuk model ramalan cuaca numerikal mensimulasikan semua proses atmosfera yang bersaiz lebih kecil berbanding saiz grid atau resolusi, contohnya proses pembentukan awan konvektif yang selalunya dalam ukuran 1km atau lebih kecil. Tanpa parameterisasi, ramalan cuaca numerikal akan menjadi tidak realistik dan boleh menyebabkan perjalanan model tidak stabil. Maklumat lanjut mengenai proses-proses yang

diparameterisasikan ini boleh dirujuk di laman web pendidikan NCAR iaitu https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/phys_references.html.

Parameterisasi fizik	Parameter dalam "namelist.input"	Opsyen yang dipilih	Nilai opsyen
Cumulus	cu_physics	New Tiedke	16
Microphysics	mp_physics	Thompson	8
PBL	bl_pbl_physics	Yonsei University	1
Longwave Radiation	ra_lw_physics	RRTMG Longwave Scheme	1
Shortwave Radiation	ra_sw_physics	Dudhia Shortwave Scheme	1

Jadual 1: Parameterisasi fizik yang dipilih bagi perjalanan model WRF di METMalaysia

3.0 KESIMPULAN

Sistem WRF merupakan model ramalan cuaca numerikal yang boleh dipercayai dan telah digunakan secara penyelidikan dan operasi di pelbagai agensi meteorologi serata dunia termasuklah negara Malaysia. Agensi utama yang bertanggungjawab dalam menyelenggara dan mengemaskini sistem ini adalah NCAR yang berpusat di Amerika Syarikat. Perjalanan model WRF secara operasi hanya boleh dijalankan sekiranya terdapat kemudahan HPC di agensi tersebut yang memerlukan kos perolehan dan penyelenggaraan yang tinggi.

Perjalanan model WRF terbahagi kepada dua peringkat iaitu pra-pemprosesan data permulaan dan sempadan serta penjanaan ramalan cuaca. Peringkat pertama memerlukan program “geogrid”, “ungrib” dan “metgrid” manakala peringkat kedua melibatkan program “real” dan “wrf”. Peringkat kedua merupakan peringkat yang lebih utama kerana hampir keseluruhan sumber komputasi akan digunakan.

Sebelum memulakan perjalanan model WRF, data daripada model global seperti GFS perlu dimuat turun untuk digunakan sebagai syarat permulaan dan sempadan. Resolusi data input GFS bagi tetapan WRF baru di METMalaysia adalah 0.25° berbanding tetapan lama iaitu 0.5° . Bagi mempercepatkan proses muat turun data, kaedah muat turun secara serentak digunakan bagi menggantikan kaedah lama yang memuat turun data secara bersiri.

Domain ialah kawasan yang dipilih untuk ramalan cuaca numerikal dilakukan dan terbahagi kepada dua iaitu domain induk serta domain anak. Domain induk merupakan domain terluar dan mempunyai resolusi lebih besar berbanding domain anak. Ianya membekalkan data permulaan dan sempadan kepada domain anak yang terletak di dalamnya. Nisbah resolusi yang disyorkan bagi domain induk kepada domain anak ialah 3:1. Terdapat keseluruhan tiga domain bagi tetapan baru WRF di METMalaysia iaitu domain induk beresolusi 9km dan dua domain anak masing-masing beresolusi 3km.

Penentuan langkah masa dalam perjalanan model WRF adalah bergantung kepada resolusi terkecil yang ditetapkan. Peraturan praktikal yang disyorkan adalah

nilai langkah masa dalam unit saat hendaklah enam kali lebih besar daripada nilai resolusi terkecil dalam unit kilometer. Pemilihan langkah masa yang sesuai adalah penting bagi menjamin kestabilan dan penumpuan algoritma dalam penyelesaian ramalan cuaca numerikal. Selain itu, nombor kriteria CFL turut memainkan peranan dalam menjamin kestabilan perjalanan model WRF. Nombor ini secara prinsipnya menyatakan bahawa jarak perjalanan gelombang bagi tempoh langkah masa yang dipilih mestilah lebih kurang dengan resolusi grid yang ditetapkan. Nilai nombor CFL yang disyorkan ialah 1.2.

Sebelum model WRF dapat dijalankan, terdapat dua senarai pilihan yang perlu diubahsuai mengikut kesesuaian penggunaan WRF di METMalaysia. Senarai pilihan tersebut diletakkan didalam fail bernama “namelist.wps” dan “namelist.input”. Didalam senarai ini mengandungi semua maklumat yang penting untuk perjalanan model WRF seperti tarikh mula dan akhir ramalan cuaca numerikal, maklumat domain-domain, penetapan langkah masa serta lain-lain opsyen.

Pada awal tahun 2018, METMalaysia akhirnya berjaya meningkatkan ramalan cuaca numerikal dari 3-hari ke hadapan dengan resolusi 4km kepada 4-hari ke hadapan dengan resolusi 3km bagi seluruh Malaysia dengan hanya menggunakan sumber komputasi yang sedia ada. Beza tempoh perjalanan model WRF dengan tetapan baru ini berbanding tetapan lama hanya kira-kira 40 minit seperti yang ditunjukkan dalam **Jadual 2**. Sampel output ramalan cuaca numerikal bagi tetapan baru dapat dilihat di **LAMPIRAN J** dimana disertakan sekali pencerapan RADAR sebagai perbandingan. Spesifikasi HPC yang digunakan pula boleh dirujuk di **LAMPIRAN K**.

Proses	Masa Purata	
	Tetapan Lama	Tetapan Baru
Muat turun data input	15 minit	15 minit
Perjalanan WRF (termasuk pra-pemprosesan)	2 jam 50 minit	3 jam 30 minit
Pasca-pemprosesan (penghasilan imej)	30 minit	30 minit
TOTAL	3 jam 35 minit	4 jam 15 minit

Jadual 2: Perbandingan masa perjalanan model WRF di METMalaysia bagi tetapan lama dan tetapan baru.

Fail Senarai Opsyen (namelist.wps)

```
&share
wrf_core = 'ARW',
max_dom = 3,
start_date = '2014-11-02_00:00:00', '2014-11-02_00:00:00', '2014-11-02_00:00:00',
end_date = '2014-11-06_00:00:00', '2014-11-06_00:00:00', '2014-11-06_00:00:00',
interval_seconds = 21600
io_form_geogrid = 2,
opt_output_from_geogrid_path = '/home/nwp/WRF/WPS',
/
```

```
&geogrid
parent_id = 1,1,1,
parent_grid_ratio = 1,3,3,
i_parent_start = 1,45,90,
j_parent_start = 1,28,149,
e_we = 324,246,429,
e_sn = 198,258,261,
geog_data_res = '5m','2m','30s',
dx = 9000,
dy = 9000,
map_proj = 'mercator',
ref_lat = 2.364,
ref_lon = 108.327,
truelat1 = 2.364,
truelat2 = 0,
stand_lon = 108.327,
geog_data_path = '/home/nwp/geog/wrf'
opt_geogrid_tbl_path = './'
/
```

```
&ungrib
out_format = 'WPS',
prefix = 'FILE',
/
```

```
&metgrid
fg_name = 'FILE',
io_form_metgrid = 2,
opt_metgrid_tbl_path = './'
```

Fail Senarai Opsyen (namelist.input)

```

&time_control
run_days      = 0,
run_hours    = 96,
run_minutes   = 0,
run_seconds   = 0,
start_year   = 2014, 2014, 2014,
start_month  = 11, 11, 11,
start_day    = 02, 02, 02,
start_hour   = 00, 00, 00,
start_minute = 00, 00, 00, 00,
start_second  = 00, 00, 00, 00,
end_year     = 2014, 2014, 2014,
end_month    = 11, 11, 11,
end_day      = 06, 06, 06,
end_hour     = 00, 00, 00,
end_minute   = 00, 00, 00, 00,
end_second   = 00, 00, 00, 00,
interval_seconds = 21600,
input_from_file = .true., .true., .true., .true.,
history_interval = 60, 60, 60, 60,
frames_per_outfile = 1, 1, 1, 1,
restart      = .false.,
restart_interval = 50000,
io_form_history = 11,
io_form_restart = 2,
io_form_input   = 2,
io_form_boundary = 2,
debug_level    = 0,
/

```

```

&domains
time_step      = 18,
target_cfl     = 1.2, 1.2, 1.2,
max_dom        = 3,
e_we           = 354, 246, 429,
e_sn           = 198, 258, 261,
e_vert         = 32, 32, 32,
p_top_requested = 5000,
num_metgrid_levels = 32,
num_metgrid_soil_levels = 4,
dx             = 9000, 3000, 3000,
dy             = 9000, 3000, 3000,
grid_id        = 1, 2, 2,
parent_id      = 1, 1, 1,
i_parent_start = 1, 45, 90,
j_parent_start = 1, 28, 149,

```

LAMPIRAN B (SAMB.)

```
parent_grid_ratio    = 1,    3,    3,
parent_time_step_ratio = 1,    3,    3,
feedback            = 1,
smooth_option       = 0,
numtiles            = 7,
/
```

```
&physics
mp_physics          = 8,    8,    8,
ra_lw_physics       = 1,    1,    1,
ra_sw_physics       = 1,    1,    1,
radt                = 9,    3,    1,
sf_sfclay_physics  = 1,    1,    1,
sf_surface_physics = 1,    1,    1,
bl_pbl_physics      = 1,    1,    1,
bldt                = 0,    0,    0,
cu_physics          = 16,   16,   16,
cudt                = 0,    0,    0,
isfflx              = 1,
ifsnow              = 0,
icloud              = 1,
surface_input_source = 1,
num_soil_layers     = 5,
sf_urban_physics    = 1,    1,    1,    1,
maxiens             = 1,
maxens              = 3,
maxens2             = 3,
maxens3             = 16,
ensdim              = 144,
/
```

```
&fdda
/
```

```
&dynamics
w_damping           = 1,
diff_opt            = 1,1,1,
km_opt              = 4,4,4,
diff_6th_opt        = 0,    0,    0,
diff_6th_factor     = 0.12, 0.12, 0.12,
base_temp           = 290.,
damp_opt            = 3,
zdamp               = 10000., 10000., 10000.,
dampcoef            = 0.2,    0.2,    0.2,
khdif               = 0,    0,    0,
kvdif               = 0,    0,    0,
epssm               = 0.3,    0.3,    0.3,
```

LAMPIRAN B (SAMB.)

```
non_hydrostatic      = .true., .true., .true.,  
moist_adv_opt        = 1,    1,    1,  
scalar_adv_opt       = 1,    1,    1,  
/
```

```
&bdy_control  
spec_bdy_width       = 5,  
spec_zone            = 1,  
relax_zone           = 4,  
specified            = .true., .false., .false.,  
nested               = .false., .true., .true.,  
/
```

```
&grib2  
/
```

```
&namelist_quilt  
nio_tasks_per_group = 4,  
nio_groups          = 3,  
/
```

LAMPIRAN C

Maklumat Data Sempadan dan Permulaan

Lokasi Data: ftp://140.172.138.17/pub/data/nccf/com/gfs/prod/gfs.YYYYMMDD/HH/*

Format Data: GRIB2

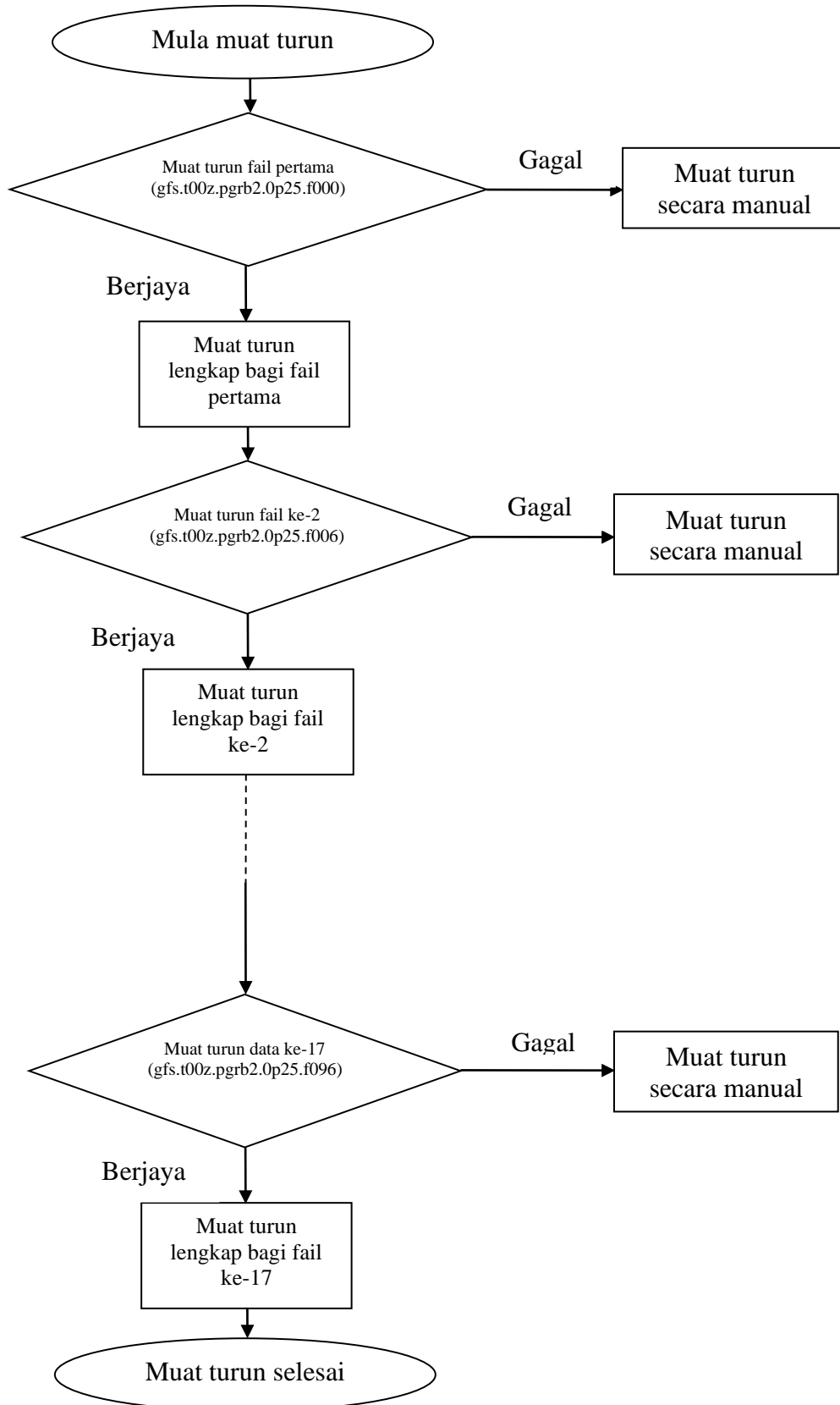
Resolusi Data: 0.25°

Maklumat Data:

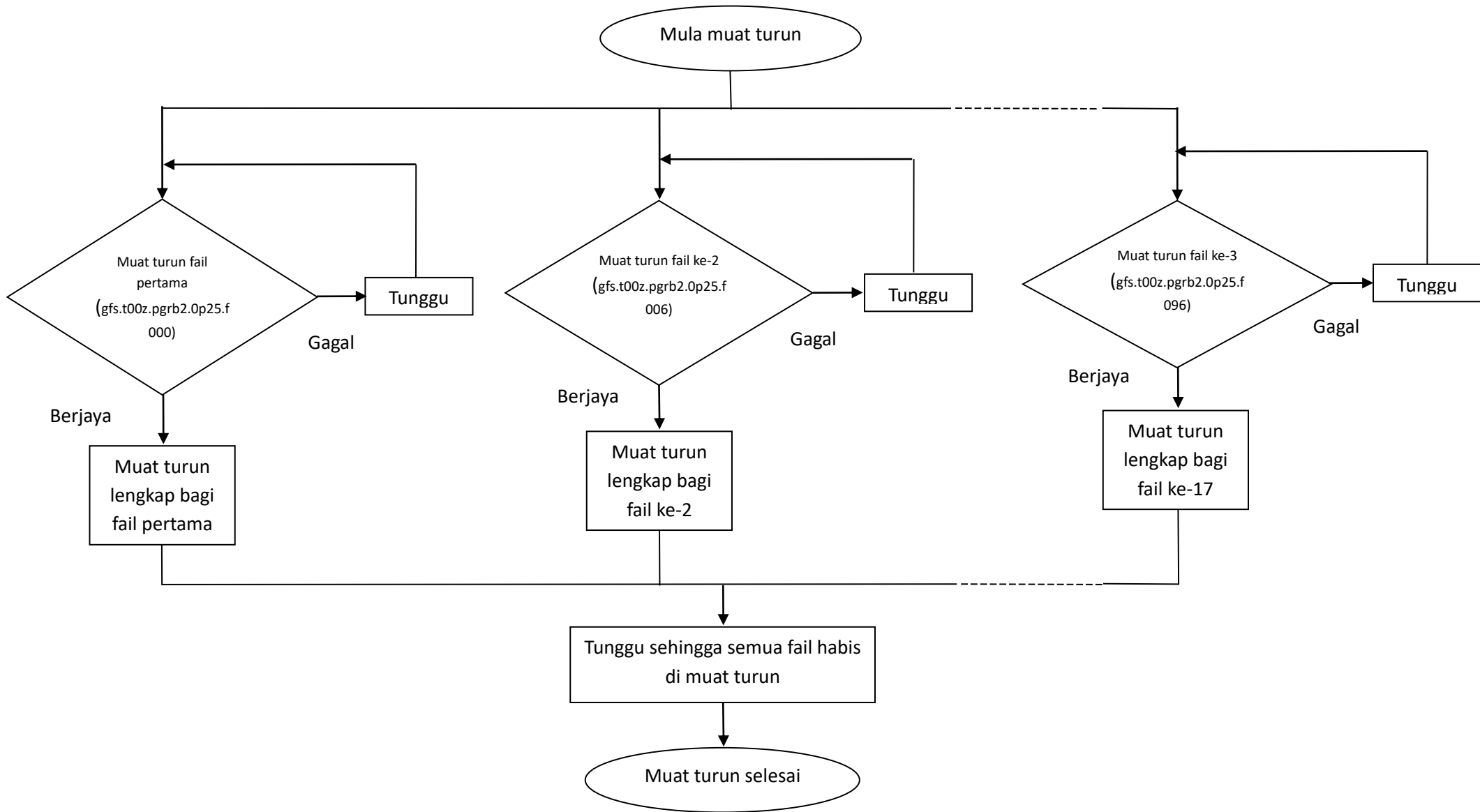
No.	Data	Saiz Purata
1	gfs.tHHz.pgrb2.0p25.f000*	265MB
2	gfs.tHHz.pgrb2.0p25.f006*	265MB
3	gfs.tHHz.pgrb2.0p25.f012*	265MB
4	gfs.tHHz.pgrb2.0p25.f018*	265MB
5	gfs.tHHz.pgrb2.0p25.f024*	265MB
6	gfs.tHHz.pgrb2.0p25.f030*	265MB
7	gfs.tHHz.pgrb2.0p25.f036*	265MB
8	gfs.tHHz.pgrb2.0p25.f042*	265MB
9	gfs.tHHz.pgrb2.0p25.f048*	265MB
10	gfs.tHHz.pgrb2.0p25.f054*	265MB
11	gfs.tHHz.pgrb2.0p25.f060*	265MB
12	gfs.tHHz.pgrb2.0p25.f066*	265MB
13	gfs.tHHz.pgrb2.0p25.f072*	265MB
14	gfs.tHHz.pgrb2.0p25.f078*	265MB
15	gfs.tHHz.pgrb2.0p25.f084*	265MB
16	gfs.tHHz.pgrb2.0p25.f090*	265MB
17	gfs.tHHz.pgrb2.0p25.f096*	265MB
Total Size		4.5GB

*YYYYMMDD adalah tarikh bagi data. HH adalah jam dalam UTC (00 atau 12 UTC bagi kegunaan perjalanan model di MET Malaysia)

Carta Alir Muat Turun Data Secara Bersiri



Carta Alir Muat Turun Data Secara Serentak



LAMPIRAN F

Skrip Linux dalam cengkerang Bash yang dihantar sebagai proses latar belakang menggunakan PBS Pro (Nama Fail : download.pbs)

```
1 #PBS -j oe
2 #PBS -l select=1:ncpus=1
3 #PBS -M sofian@met.gov.my
4
5 #this download script must be send via qsub. Written by Sofian in Jun 2014
6
7 cd $PBS_O_WORKDIR
8
9 TAR=`date`
10 echo Attempt download start for $WGETSRCE at : $STAR
11
12 wget $WGETSRCE
13
14 FileName=`echo $WGETSRCE | awk -F/ '{print $NF}`
15 if [ -f $FileName ]
16 then
17     ENDTAR=`date`
18     echo Download finish for $FileName at : ${ENDTAR}. Start download at : $STAR
19 else
20     echo Download fail for $FileName at : `date`
21 fi
```


LAMPIRAN G

Skrip cengkerang Bash yang menghantar proses-proses muat turun secara serentak dalam mod latar belakang (Nama Fail : main,bsh)

```
1 #!/bin/bash
2 #main script to send download script using qsub. Written by Sofian in Jun 2014
3 if [ $# -lt 4 ]
4 then
5 YEA=`date -u "+%Y"`
6 MON=`date -u "+%m"`
7 DAY=`date -u "+%d"`
8 HOU=`date -u "+%H"`
9 else
10 YEA=$1
11 MON=$2
12 DAY=$3
13 HOU=$4
14 fi
15
16 H=$((10#$HOU+0))
17
18 if [ $H -ge 18 ]
19 then
20 HOU="18"
21 elif [ $H -ge 12 ]
22 then
23 HOU="12"
24 elif [ $H -ge 6 ]
25 then
26 HOU="06"
27 else
28 HOU="00"
29 fi
30
31 TAR=${YEA}${MON}${DAY}${HOU}
32 ROOTFILENAME="gfs.t${HOU}z.pgrb2.0p25.f"
33
34 STT=0
35 END=168 #max 168
36 INC=3
37
38 for i in `seq $STT $INC $END`
39 do
40 if [ $i -lt 10 ]
41 then
```

```

42  num="00$i"
43  elif [ $i -lt 100 ]
44  then
45  num="0$i"
46  else
47  num="$i"
48  fi
49  IND="$IND $num"
50  done
51
52  echo File index to be download: $IND
53  FILESNUM=`echo $IND | wc -w`
54
55  QSUB="/gpfs/software/altair/PBS/PBS_EXEC/default/bin/qsub"
56  QSTAT="/gpfs/software/altair/PBS/PBS_EXEC/default/bin/qstat"
57  PBSDOWNLOAD="/gpfs/home/nwp2/sofian/Downloads/download.pbs"
58
59  if [ ! -d ${YEA}-${MON}-${DAY}_${HOU} ]
60  then
61  mkdir ${YEA}-${MON}-${DAY}_${HOU}
62  mkdir ${YEA}-${MON}-${DAY}_${HOU}/log
63  fi
64
65  cd ${YEA}-${MON}-${DAY}_${HOU}/log
66
67  ALLDONE=1
68  K=1
69
70  while [ $ALLDONE -ne 0 ]
71  do
72
73  echo Number of attempt: $K at `date`
74
75  for i in $IND
76  do
77  if [ ! -f ${ROOTFILENAME}${i} ]
78  then
79  if [ "${ID[10#$i]}" == "" ]
80  then
81  echo Job for index $i not submitted yet.
82  MISS="$MISS $i"
83  else
84  $QSTAT ${ID[10#$i]}
85  if [ $? -eq 0 ]
86  then
87  echo Job is there, still try to download file with index ${i}. No need to resubmit job.

```

```

88     else
89         echo Job has terminated, but failed to download file with index ${i}. Need to resubmit job.
90         MISS="$MISS $i"
91     fi
92 fi
93 fi
94 done
95
96 echo Missing index: $MISS
97
98 if [ "$MISS" != "" ]
99 then
100  for i in $MISS
101  do
102      WGETSRCE="ftp://140.172.138.17/pub/data/nccf/com/gfs/prod/gfs.${TAR}/${ROOTFILENAME}${i}"
103      echo Download $WGETSRCE
104      ID[10#i]=`QSUB -v WGETSRCE=$WGETSRCE $PBSDOWNLOAD`
105  done
106  sleep 5m
107  else
108      CURRFILESNUM=`ls ${ROOTFILENAME}* | wc -l`
109      echo Number of gfs files in this directory is ${CURRFILESNUM}. Full number should be ${FILESNUM}.
110      sleep 5m
111      if [ $CURRFILESNUM -eq $FILESNUM ]
112      then
113          ALLDONE=0
114      fi
115  fi
116
117  MISS=""
118  K=$((K+1))
119
120  if [ $K -gt 288 ]
121  then
122      echo 24 hours pass. Download still pending. Exit program...
123      exit 2
124  fi
125
126  done
127
128  echo All files downloading... Now checking the progress at `date`
129  DU1="0"
130  DU2="1"
131  J=1
132  while [ "$DU1" != "$DU2" ]
133  do

```

```
134 echo Check download progress, $J
135 DU1=`du -s ${ROOTFILENAME}*`
136 sleep 1m
137 DU2=`du -s ${ROOTFILENAME}*`
138 J=$((J+1))
139 done
140
141 cd ..
142 #ln -sf log/gfs.* .
143 mv log/gfs.* .
144 touch finish_downloaded
145 echo All files finish downloaded at `date`
```

LAMPIRAN H

Perbandingan masa muat turun data input menggunakan kaedah bersiri (lama) dengan kaedah serentak (baru)

Kaedah muat turun bersiri:

Tarikh mula (UTC)	Masa mula (UTC)	Tarikh tamat (UTC)	Masa tamat (UTC)	Bilangan fail	Saiz data	Tempoh muat turun (Jam & minit)
2014-08-01	03:40	2014-08-01	08:28	17	4.5G	04:48
2014-08-01	16:40	2014-08-01	18:41	17	4.5G	04:01
2014-08-02	03:40	2014-08-02	05:37	17	4.5G	03:57
2014-08-02	16:40	2014-08-02	18:36	17	4.5G	03:56
2014-08-03	03:40	2014-08-03	05:22	17	4.5G	03:42
2014-08-03	16:40	2014-08-03	18:09	17	4.5G	03:29
2014-08-04	03:40	2014-08-04	05:46	17	4.5G	04:06
2014-08-04	16:40	2014-08-04	18:09	17	4.5G	03:29
2014-08-05	03:40	2014-08-05	06:00	17	4.5G	04:20
2014-08-05	16:40	2014-08-05	18:45	17	4.5G	03:05
2014-08-06	03:40	2014-08-06	05:50	17	4.5G	04:10
2014-08-06	16:40	2014-08-06	18:30	17	4.5G	03:50
2014-08-07	03:40	2014-08-07	05:56	17	4.5G	04:16
2014-08-07	16:40	2014-08-07	18:38	17	4.5G	03:58
Purata						03:58

Kaedah muat turun serentak:

Tarikh mula (UTC)	Masa mula (UTC)	Tarikh tamat (UTC)	Masa tamat (UTC)	Bilangan fail	Saiz data	Tempoh muat turun (Jam & minit)
2014-08-08	03:40	2014-08-01	03:45	17	4.5G	00:15
2014-08-08	16:40	2014-08-01	16:42	17	4.5G	00:12
2014-08-09	03:40	2014-08-02	03:45	17	4.5G	00:15
2014-08-09	16:40	2014-08-02	16:43	17	4.5G	00:13
2014-08-10	03:40	2014-08-03	03:46	17	4.5G	00:16
2014-08-10	16:40	2014-08-03	16:44	17	4.5G	00:14
2014-08-11	03:40	2014-08-04	03:45	17	4.5G	00:15
2014-08-11	16:40	2014-08-04	16:43	17	4.5G	00:13
2014-08-12	03:40	2014-08-05	03:44	17	4.5G	00:14
2014-08-12	16:40	2014-08-05	16:42	17	4.5G	00:12
2014-08-13	03:40	2014-08-06	03:45	17	4.5G	00:15
2014-08-13	16:40	2014-08-06	16:03	17	4.5G	00:13
2014-08-14	03:40	2014-08-07	03:44	17	4.5G	00:14
2014-08-14	16:40	2014-08-07	16:42	17	4.5G	00:12
Purata						00:14

LAMPIRAN I

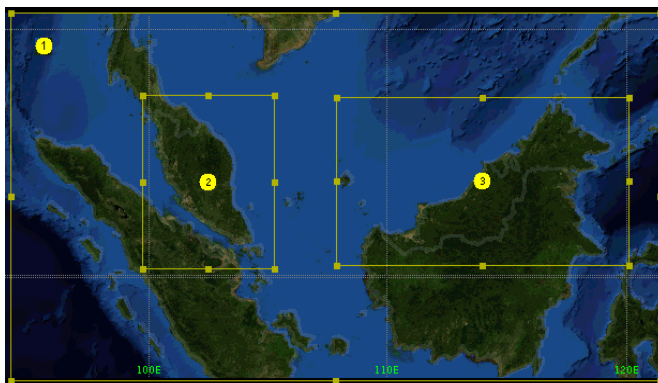
Konfigurasi Domain

LAMA:



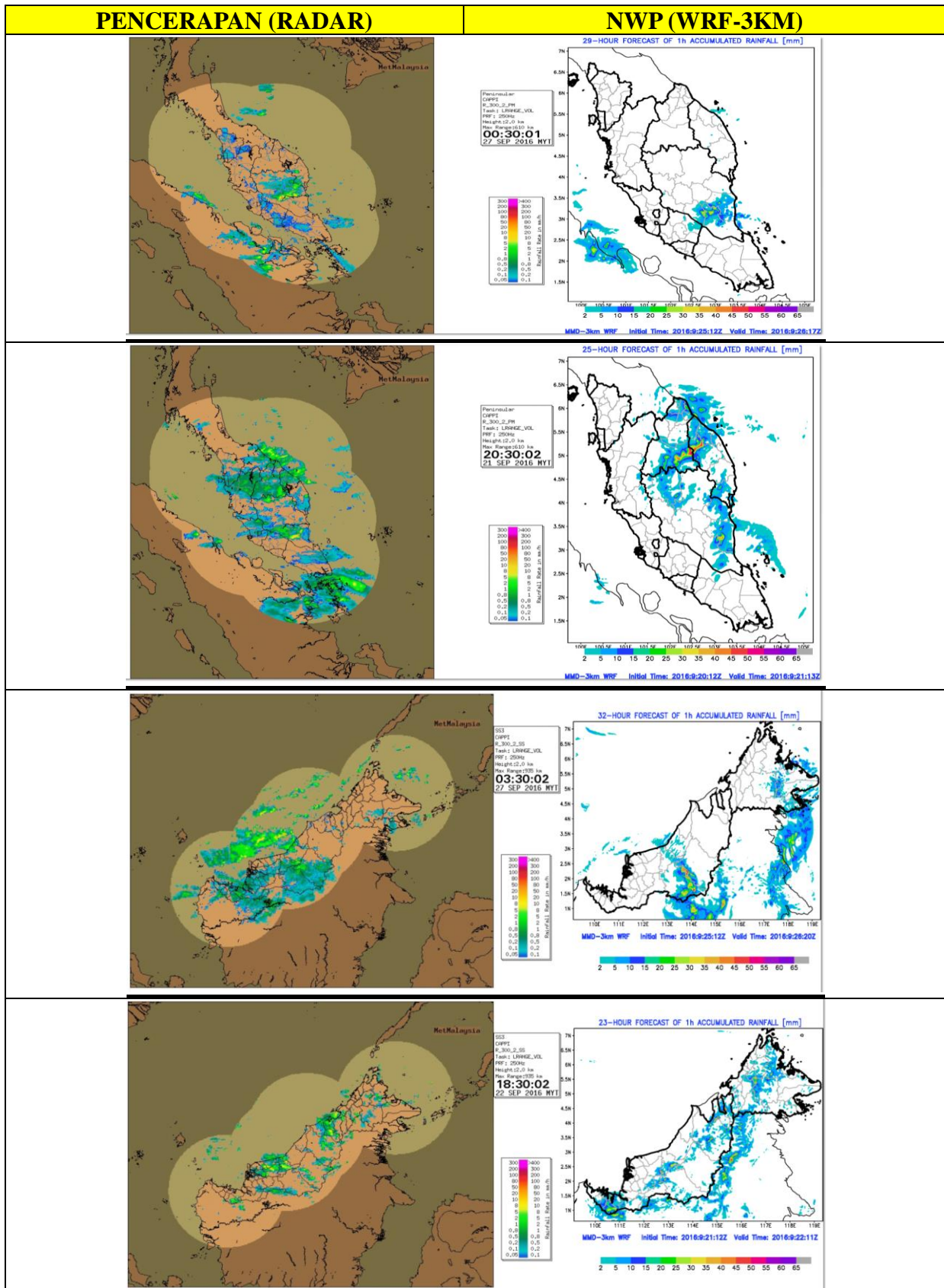
Domain	Resolusi (km)	Bil. nombor grid
Domain 1	36	154x154
Domain 2	12	220x130
Domain 3	4	196x169
Domain 4	4	298x196

BARU:



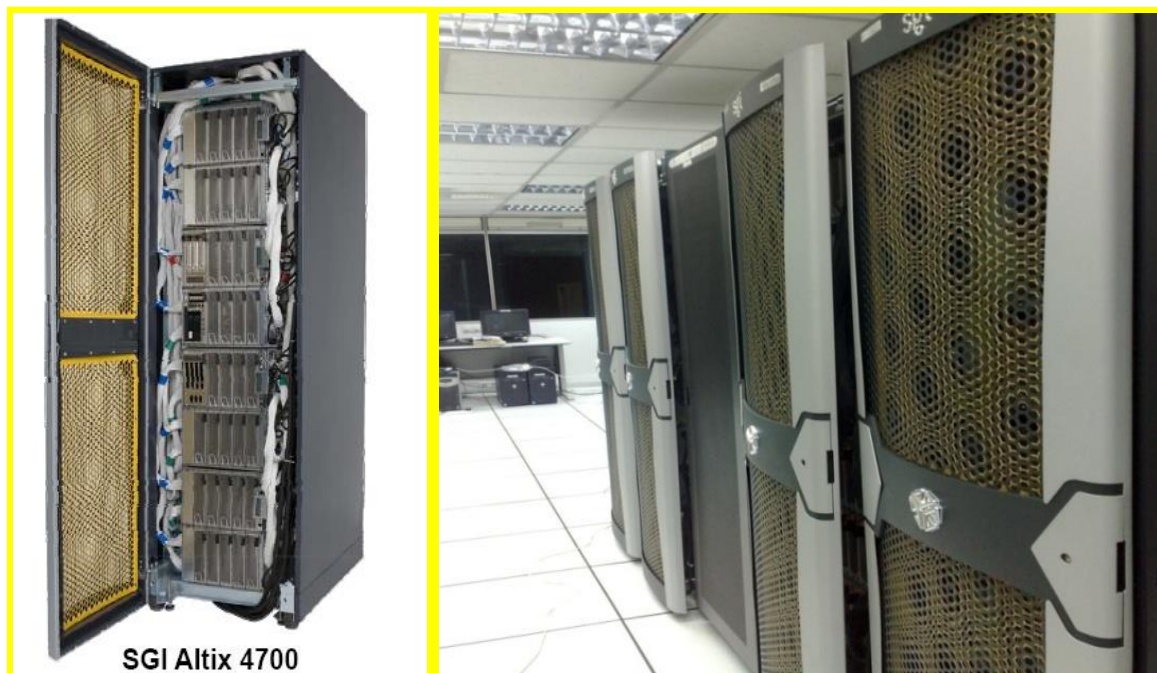
Domain	Resolusi (km)	Bil. nombor grid
Domain 1	9	354x198
Domain 2	3	246x258
Domain 3	3	429x261

Sampel Output WRF (Jumlah Hujan Terkumpul Dalam 1jam)



Spesifikasi HPC (SGI ALTIX 4700)

1. Jumlah *processor*: 256 *cores*
2. Jenis *processor* : INTEL ITANIUM 9000 *Dual Core processors*
3. *Architecture*: 64 MONTECITO *architecture blades with two processors each*
4. Memori : 16 Gb per blade (overall 1 TB)
5. Saiz storan data : 19.2 Tb
6. *Interconnect*: SGI NUMALINK 4 (~ 6.4GBps)
7. *Latency* < 1 μ s
8. Sistem pengoperasian: SUSE ENTERPRISE LINUX 10 with SGI PROPACK
9. *MPI Library*: SGI MPT (*Message Passing Toolkit*)
10. *Compilers* : Intel Fortran version 11 and Intel C/C++ version 10
11. *Theoretical peak*: 1.43 T/flops
12. *Job Scheduler* : PBSpro v9



Gambarajah 4: Sistem HPC yang digunakan untuk menjalankan WRF di METMalaysia

Senarai Rujukan:

1. NCAR/UCAR. *The Weather Research and Forecasting Model*. Diperolehi pada Januari 2019 daripada <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>
2. NCAR/UCAR. *WRF Model User's Page*. Diperolehi pada Januari 2019 daripada <https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/>
3. NCAR/UCAR. *Modelling System Overview*. Diperolehi pada Januari 2019 daripada https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/model_overview.html
4. WMO. *GRIB edition 1*. Diperolehi pada Januari 2019 daripada <https://community.wmo.int/activity-areas/wis/grib-edition-1>
5. NCAR/UCAR. *User's Guide for the Advance Research WRF (ARW) Modelling System Version 4.0*. Diperolehi pada Januari 2019 daripada https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_v4/v4.0/contents.html
6. Holton, James R. & Hakim, Gregory J. (2012). *An Introduction to Dynamic Meteorology*. Academic Press
7. NCAR/UCAR. *ARW Version 3 Modelling System User's Guide*. Diperolehi pada Januari 2019 daripada https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3/user_guide_V3.0/ARWUsersGuideV3.pdf
8. NCAR/UCAR. *NCAR Tropical Physics Suite for WRF*. Diperolehi pada Januari 2019 daripada https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/physics/ncar_tropical_suite.php

MALAYSIA METEOROLOGICAL DEPARTMENT
JALAN SULTAN
46667 PETALING JAYA
SELANGOR DARUL EHSAN
Tel : 603-79678000
Fax : 603-79550964
www.met.gov.my

ISBN 978-967-2327-08-0



9 7 8 9 6 7 2 3 2 7 0 8 0