

Survei Gaia-ESO: Analisis spektrum UVES resolusi tinggi dari bintang-bintang tipe FGK Y, YY

R. Smiljanic^{1,2}, A.J. Korn³, M. Bergemann^{4,(5)}, A. Frasca⁽⁶⁾, L. Magrini⁽⁷⁾, T. Masseron⁽⁸⁾, E. Pancino^{9,(10)}, G. Ruchti¹¹, I. San Roman¹², L. Sbordone^{13,(14),(15)}, S. G. Sousa^{16,(17)}, H. Tabernero⁽¹⁸⁾, G. Tosi⁽⁹⁾, M. Valentini⁽²⁰⁾, M. Weber⁽²⁰⁾, C. C. Worley^{21,5}, V. Zh. Adibekyan⁽¹⁶⁾, C. Allende Prieto^{22,(23)}, G. Barisevic¹⁽⁹⁾, K. Biazzo⁽⁶⁾, S. Blanco-Cuaresma⁽²⁴⁾, P. Bonifacio²⁵, A. Bragaglia⁹, E. Caffau^{13,(25)}, T. Cantat-Gaudin^{26,(27)}, Y. Chorniy⁽¹⁹⁾, P. de Laverny⁽²¹⁾, E. Delgado-Mena⁽¹⁶⁾, P. Donati^{9,28}, S. Duffau^{(13),(14),(15)}, E. Franciosini⁽⁷⁾, E. Friel⁽²⁹⁾, D. Geisler⁽¹²⁾, J. I. González Hernández^{18,22,(23)}, P. Gruyters³, G. Guiglion⁽²¹⁾, C. J. Hansen⁽¹³⁾, U. Heiter³, V. Hill⁽²¹⁾, H. R. Jacobson⁽³⁰⁾, P. Jofre^{24,5}, H. Jönsson⁽¹¹⁾, A. C. Lanzafame^{6,(31)}, C. Lardo⁹, H.-G. Ludwig¹³, E. Maiorca⁷, Š. Mikolaitis^{19,21}, D. Montes¹⁸, T. Morel³², A. Mucciarelli⁽²⁸⁾, C. Muñoz¹², T. Nordlander³, L. Pasquini⁽¹⁾, E. Puzeras⁽¹⁹⁾, A. Recio-Blanco⁽²¹⁾, N. Ryde⁽¹¹⁾, G. Sacco⁽⁷⁾, NC Santos^{16,17}, A. M. Serenelli³³, R. Sordo⁽²⁶⁾, C. Soubiran⁽²⁴⁾, L. Spina^{7,(34)}, M. Steffen⁽²⁰⁾, A. Vallenari⁽²⁶⁾, S. Van Eck⁽⁸⁾, S. Villanova⁽¹²⁾, G. Gilmore⁵, S. Randich⁽⁷⁾, M. Asplund⁽³⁵⁾, J. Binney⁽³⁶⁾, J. Drew⁽³⁷⁾, S. Feltzing⁽¹¹⁾, A. Ferguson³⁸, R. Jeffries⁽³⁹⁾, G. Micela⁴⁰, I. Negueruela⁽⁴¹⁾, T. Prusti⁽⁴²⁾, H.W. Rix⁴³, E. Alfaro⁽⁴⁴⁾, C. Babusiaux⁽²⁵⁾, T. Bensby⁽¹¹⁾, R. Blomme⁴⁵, E. Flaccomio⁴⁰, P. François⁽²⁵⁾, M. Irwin⁽⁵⁾, S. Koposov⁽⁵⁾, N. Walton⁵, A. Bayo^{43,46}, G. Carraro⁽⁴⁷⁾, M. T. Costado⁽⁴⁴⁾, F. Damiani³⁰, B. Edvardsson⁽³⁾, A. Hourihane⁽⁵⁾, R. Jackson⁽³⁹⁾, J. Lewis⁵, K. Lind⁵, G. Marconi⁽⁴⁷⁾, C. Martayan⁽⁴⁷⁾, L. Monaco⁽⁴⁷⁾, L. Morbidelli⁽⁷⁾, L. Prisinzano⁽⁴⁰⁾, dan S. Zaggia²⁶

(Afiliasi dapat ditemukan setelah referensi)

Diterima 3 April 2014/ Diterima 1 September 2014

ABSTRAK

Konteks. Survei Spektroskopi Publik *Gaia-ESO* yang sedang berlangsung saat ini menggunakan FLAMES di VLT untuk mendapatkan spektrum Jerapah resolusi menengah berkualitas tinggi untuk sekitar 10^5 bintang dan spektrum UVES resolusi tinggi untuk sekitar 5.000 bintang. Dengan UVES, survei ini telah mengamati 1447 bintang tipe FGK.

Tujuan. Spektrum UVES ini dianalisis secara paralel dengan beberapa metodologi canggih. Tujuan kami adalah untuk menyajikan bagaimana analisis ini diterapkan, untuk mendiskusikan hasilnya, dan untuk menjelaskan bagaimana skala parameter akhir yang direkomendasikan didefinisikan. Kami juga membahas ketepatan (penyebaran metode ke metode) dan akurasi (bias terhadap nilai referensi) dari parameter akhir. Hasil-hasil ini merupakan bagian dari rilis internal kedua *Gaia-ESO* dan akan menjadi bagian dari rilis publik pertama dari produk data lanjutan.

Metode. Skala parameter akhir terkait dengan skala yang ditentukan oleh bintang-bintang patokan *Gaia*, sekumpulan bintang dengan parameter atmosfer yang mendasar. Selain itu, satu set gugus terbuka dan bola digunakan untuk mengevaluasi kesehatan fisik dari hasil. Masing-masing metodologi yang diterapkan dinilai terhadap bintang-bintang patokan untuk menentukan bobot di tiga wilayah berbeda dari ruang parameter. Hasil akhir yang direkomendasikan adalah median tertimbang dari masing-masing metode.

Hasil. Hasil yang direkomendasikan berhasil mereproduksi parameter atmosfer bintang-bintang pembanding dan hubungan $T_{\text{eff}}\text{-log } g$ yang diharapkan dari gugus-gugus yang dikalibrasi. Parameter atmosfer dan kelimpahan telah ditentukan untuk 1301 bintang tipe FGK yang diamati dengan UVES. Median dari dispersi antar metode dari parameter atmosfer adalah 55 K untuk T_{eff} , 0,13 dex untuk $\log g$ dan 0,07 dex untuk $[\text{Fe}/\text{H}]$. Bias sistematis diperkirakan antara 50-100 K untuk T_{eff} , 0,10-0,25 dex untuk $\log g$ dan 0,05-0,10 dex untuk $[\text{Fe}/\text{H}]$. Kelimpahan untuk 24 elemen telah diperoleh: C, N, O, Na, Mg, Al, Si, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Zr, Mo, Ba, Nd, dan Eu. Dispersi kelimpahan dari metode ke metode bervariasi antara 0,10 dan 0,20 dex.

Kesimpulan. Sampel spektrum resolusi tinggi bintang-bintang tipe FGK dari *Gaia-ESO* akan menjadi salah satu yang terbesar dari jenisnya yang dianalisa secara homogen. Daftar kelimpahan unsur yang diperoleh dari bintang-bintang ini akan memungkinkan kemajuan yang signifikan dalam bidang evolusi bintang serta pembentukan dan evolusi Bima Sakti.

Kata-kata kunci: metode: analisis data - survei - bintang: kelimpahan - bintang: parameter fundamental - bintang: tipe akhir

1. Pendahuluan

Mengikuti makalah penting Burbidge dkk. (1957), sekarang telah diketahui bahwa sebagian besar unsur kimia adalah

diproduksi di dalam bintang. Unsur-unsur ini dan isotop-isotopnya disintesis melalui berbagai proses di dalam bintang-bintang dengan massa yang berbeda dan generasi yang berbeda pula (Wallerstein dkk. 1997, untuk tinjauan).

Astrofisika modern berusaha untuk melacak proses sintesis dan dispersi unsur-unsur kimia, dan menggunakannya untuk memecahkan kode sejarah pembentukan dan evolusi planet, bintang, Galaksi. Informasi kelimpahan multi elemen merupakan kebutuhan utama dalam konteks ini, karena kelimpahan elemen yang berbeda dibentuk oleh proses fisika yang berbeda. Penyelidikan tentang

* Berdasarkan pengamatan yang dilakukan dengan ESO/VLT, di Paranal Observatory, di bawah program 188.B-3002 (Survei Spektroskopi Publik *Gaia-ESO*, PI Gilmore dan Randich).

(xx) Lampiran tersedia dalam bentuk elektronik di

<http://www.aanda.org>

Sampel besar bintang-bintang berumur panjang, yang terbentuk di berbagai tempat dan waktu di Galaksi, dibutuhkan untuk menyusun gambaran lengkap evolusi Galaksi dan bintang.

Mendapatkan data spektroskopi untuk mencapai tujuan ini merupakan hal yang sulit. Untuk menentukan kelimpahan unsur yang akurat dan terperinci, kita membutuhkan spektrum beresolusi tinggi dengan signal-to-noise (S/N) yang tinggi dengan cakupan panjang gelombang yang luas. Untuk mendapatkan statistik yang kuat dan mencakup seluruh populasi galaksi, diperlukan pengamatan sampel bintang yang besar, termasuk bintang-bintang redup di luar lingkungan matahari. Untuk mencapai hal ini, sejumlah survei spektroskopi kini sedang dilakukan dan/atau direncanakan seperti, misalnya, Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment (APOGEE, Ahn et al. 2014), Arkeologi Galaksi dengan HERMES, High Efficiency and Resolution Multi-Elemental Spectrograph (GALAH, Zucker et al. 2012), Large sky Area Multi-Object fiber Spectroscopic Telescope (LAMOST) Experiment for Galactic Understanding and Exploration (LEGUE, Deng dkk. 2012, the RAdial Velocity Experiment (RAVE, Steinmetz dkk. 2006; Kordopatis dkk. 2013), the Sloan Extension for Galactic Understanding and Exploration (SEGUE, Yanny dkk. 2009), dan the Gaia-ESO Survey (Gilmore dkk. 2012; Randich & Gilmore 2013).

Survei Gaia-ESO¹ survei spektroskopi publik yang ambisius untuk mendapatkan spektrum resolusi menengah dan tinggi dari lebih dari 10⁵ bintang. Pengamatan dimulai pada tanggal 31 Desember 2011 dan dilakukan di Very Large Telescope (VLT), di Observatorium Paranal, Chili. Seluruh data yang dikumpulkan oleh survei ini direduksi secara homogen dan dianalisa oleh konsorsium Gaia - ESO. Katalog publik dengan parameter astrofisika akan tersedia untuk masyarakat.

Target survei mewakili seluruh komponen utama galaksi (halo, tonjolan, piringan tipis dan tebal) dan mencakup sejumlah besar gugus terbuka, yang dipilih untuk mencakup ruang parameter usia, total massa bintang, jarak, dan metalitas. Targetnya meliputi bintang-bintang tipe awal dan akhir (dari tipe O sampai M), bintang raksasa, bintang katai, dan bintang-bintang pra-urutan utama.

Pengamatan dilakukan dengan fasilitas multi FLAMES (Fiber Large Array Multi-Element Spectrograph) (Pasquini dkk., 2002). Spektrum resolusi menengah ($R \sim 20\,000$) sekitar $\sim 10^5$ bintang diperoleh dengan Giraffe dan spektrum resolusi tinggi ($R \sim 47\,000$) dari sekitar ~ 5.000 bintang diperoleh dengan UVES (Ultraviolet and Visual Echelle Spectrograph, Dekker dkk. 2000).

1.1. Makalah rilis Gaia-ESO

Makalah ini merupakan bagian dari seri yang menyajikan deskripsi lengkap tentang Survei Gaia-ESO, sebagai persiapan untuk rilis publik pertama produk data lanjutan. Survei ini diorganisir dalam berbagai kelompok kerja (WG) yang berbeda yang menangani semua tugas yang relevan, mulai dari pemilihan target dan pengamatan, hingga analisis data dan pengarsipan data. Meskipun di luar tujuan makalah ini untuk menggambarkan organisasi internal Survei, kami memberikan gambaran umum dari makalah yang dirilis untuk kejelasan dan kelengkapan.

Dua makalah akan memberikan gambaran umum survei yang menjelaskan tujuan penelitian, rencana pengamatan, organisasi tim, strategi pemilihan target, dan jadwal rilis data. Bagian Bima Sakti dari

Survei akan dipaparkan dalam Gilmore dkk. (dalam persiapan), dan bagian dari gugus terbuka dari Survei ini akan disajikan dalam Randich dkk. (dalam persiapan). Data dan prosedur yang digunakan untuk memilih bintang-bintang anggota yang akan diamati pada setiap gugus terbuka yang dipilih akan disajikan dalam Bragaglia dkk. (dalam persiapan). Deskripsi data

Aspek reduksi akan disajikan dalam Lewis dkk. (dalam persiapan) untuk spektrum Jerapah, dan dijelaskan dalam Sacco dkk. (2014) untuk spektrum UVES.

Analisis berbagai tipe bintang dilakukan oleh WG yang berbeda. Analisis spektrum Jerapah dari bintang tipe FGK akan dijelaskan dalam Recio-Blanco dkk. (dalam persiapan). Analisis bintang-bintang pra-urutan utama akan dijelaskan dalam Lanza et al. dkk. (2014). Analisis bintang-bintang tipe OBA, yang semuanya berada di gugus terbuka muda, akan dijelaskan di Blomme dkk. (dalam persiapan). Analisis objek-objek yang tidak standar dan pencilan akan menjadi bagian dari Gilmore dkk. (dalam persiapan). Analisis spektrum UVES dari bintang tipe FGK menjadi topik makalah ini.

Upaya yang cukup besar didedikasikan untuk pengamatan serangkaian target yang komprehensif untuk kalibrasi internal dan eksternal dari skala parameter Survei. Target kalibrasi meliputi bintang-bintang gugus terbuka dan bola, bintang-bintang pembanding *Gaia*², dan bintang-bintang dari bidang CoRoT (Rotasi Konveksi dan Transit Planet, Baglin et al. 2006). Pemilihan dan pengamatan target-target ini akan dijelaskan dalam Pancino dkk. (dalam persiapan). Karena survei ini mencakup analisis berbagai jenis bintang, maka diperlukan langkah tambahan untuk menyeragamkan hasil akhir, mengoreksi efek-efek sistemik jika diperlukan. Langkah tambahan ini dilakukan untuk memastikan bahwa hasil yang diperoleh untuk bintang tipe awal dan tipe akhir, bintang katai, bintang raksasa, dan bintang pra-deret utama berada dalam satu skala yang konsisten. Proses homogenisasi yang dilakukan oleh Survey ini akan dibahas di François dkk. (dalam persiapan)³.

1.2. Analisis UVES

Makalah ini menjelaskan analisis spektrum UVES dari bintang-bintang tipe FGK dalam Survei *Gaia-ESO* yang dilakukan dalam Kelompok Kerja 11 (WG11) dan telah diimplementasikan untuk merilis produk data lanjutan yang pertama. Produk yang dihasilkan dari analisis ini meliputi: lebar ekuivalen (EW) garis spektrum, parameter atmosfer bintang, dan kelimpahan unsur.

Proses analisis dalam Survei dilakukan dalam siklus, mengikuti reduksi data dari spektrum yang baru diamati. Setiap siklus analisis baru memperbaiki siklus analisis sebelumnya, karena beberapa data yang dimasukkan diperbarui (misalnya, data atom dan molekuler), ketika tim meningkatkan metode analisis mereka, dan ketika metode yang digunakan untuk menyempurnakan set parameter dan kelimpahan atmosfer yang direkomendasikan berkembang.

Kami telah menyelesaikan analisis dua rilis data internal (selanjutnya disebut iDR). iDR terdiri dari data yang telah direduksi yang siap untuk dianalisis dan pada awalnya hanya tersedia di dalam konsorsium Gaia-ESO. iDR baru terjadi kira-kira setiap enam bulan, dan setelah itu siklus analisis baru dimulai.

Rilis internal kedua (iDR2) mencakup revisi dalam format data dari semua pengamatan yang dilakukan oleh Survei, menyempurnakan iDR1. Terdapat juga perbedaan yang signifikan antara strategi analisis yang diterapkan pada set data iDR1 dan iDR2. Diskusi yang disajikan di sini akan berkonsentrasi pada analisis iDR2. Ini adalah hasil yang akan menjadi bagian dari rilis publik pertama Gaia-ESO, bersama dengan hasil iDR3.

Analisis set data iDR3, yang merupakan rilis tambahan, saat ini sedang berlangsung. iDR3 bersifat inkremental karena hanya mencakup pengamatan baru, yang diselesaikan setelah iDR2 dibuat

² Lihat <http://sci.esa.int/gaia/> untuk rincian lebih lanjut mengenai misi antariksa *Gaia* milik Badan Antariksa Eropa (ESA).

³ Homogenisasi akhir Survey luas ini menggunakan hasil analisis spektrum UVES dari bintang-bintang tipe FGK yang dibahas dalam makalah ini sebagai titik tolak. Oleh karena itu, hasil yang kami peroleh saat ini tidak berubah oleh homogenisasi akhir.

¹ <http://www.gaia-eso.eu>

yang tersedia. Strategi analisis yang sama persis dengan yang kami terapkan pada iDR2, juga diterapkan pada iDR3.

Untuk kelengkapan, kami juga menyajikan analisis iDR1 dalam Lampiran. Di sana, kami membahas perbedaan utama antara pelaksanaan analisis untuk kedua iDR ini. Makalah verifikasi sains *Gaia-ESO* pertama didasarkan pada iDR1, dan sangat penting untuk mendokumentasikan bagaimana analisis ini dilakukan.

Kami tekankan sekali lagi bahwa analisis spektrum Gaia-ESO merupakan pengembangan yang berkelanjutan. Dengan adanya perbaikan dalam analisis, set data Survei yang lengkap akan dianalisis ulang. Oleh karena itu, rilis produk data selanjutnya akan menggantikan rilis sebelumnya. Di bawah ini adalah deskripsi dari iDR2:

- *Rilis Data Internal 2 (iDR2)*: rilis data ini terdiri dari semua spektrum yang diperoleh dari awal Survei hingga akhir Juni 2013, dan data arsip tambahan yang disertakan untuk tujuan kalibrasi. Untuk analisis WG11, data mencakup total 1708 spektrum dari 1447 bintang tipe FGK (beberapa eksposur dari bintang-bintang patokan dianalisis terpisah, lihat Bagian 7.1). Dari bintang-bintang tersebut, 1412 di antaranya diamati oleh *Gaia-ESO*, 35 di antaranya diperoleh dari arsip data, dan 22 di antaranya memiliki spektrum Gaia-ESO dan arsip. Hasil astrofisika yang diperoleh dari analisis set data iDR2 akan menjadi bagian dari produk data cangkih Gaia-ESO yang akan dirilis untuk publik untuk pertama kalinya. Rilis publik ini akan tersedia melalui arsip sains khusus Survei Gaia-ESO⁽⁴⁾ yang dikelola oleh Wide Field Astronomy Unit (WFAU) dari Institute for Astronomy, Royal Observatory, Edinburgh, Inggris. Hasil dari iDR2 menggantikan hasil verifikasi sains dari iDR1 yang disajikan dalam Lampiran.

Untuk analisis spektrum UVES bintang-bintang tipe FGK, kami menerapkan beberapa metodologi paralel dan bukannya menggunakan satu jalur analisis tunggal. Keuntungan utama dari strategi analisis berganda dalam survei yang luas seperti survei kami adalah bahwa kami dapat mengidentifikasi berbeda yang berkinerja lebih baik di berbagai bagian ruang parameter. Oleh karena itu, kami tidak dibatasi oleh keterbatasan dari satu jalur pipa, yang akan memperkenalkan sistematis yang berbeda di berbagai wilayah ruang parameter. Selain itu, dengan beberapa analisis, kami dapat mengukur ketepatan analisis spektroskopi, dengan meninjau seberapa baik kecocokan dari beberapa jalur pipa di setiap bintang sampel. Namun demikian, strategi ini juga menambah tingkat kerumitan memahami hasil penelitian. Sebuah jalur tunggal akan lebih homogen secara internal dan memberikan hasil yang lebih mudah direproduksi dan dikoreksi ketika (dan jika) diperlukan.

Dalam makalah ini, kami menyajikan perbandingan dari beberapa saluran pipa yang diterapkan pada iDR2. Skala parameter akhir kami dibuat dengan menerapkan proses homogenisasi yang mengaitkannya dengan skala fundamental yang ditentukan oleh bintang-bintang patokan *Gaia*. Jalur pipa yang berbeda memberikan hasil yang lebih baik di berbagai wilayah ruang parameter. Homogenitas dipastikan dengan menjamin bahwa hasil fisis mereproduksi parameter "nyata" dari bintang acuan dengan baik di setiap wilayah ruang parameter. Kami membahas bagaimana kami menggunakan berbagai analisis untuk menentukan ketepatan hasil yang kami peroleh, bagaimana tolok ukur digunakan untuk menentukan akurasi hasil, dan menyajikan batasan-batasan dari katalog akhir. Ini adalah makalah teknis yang menjelaskan analisis spektrum dan hasil-hasilnya. Implikasi ilmiah dari hasil-hasilnya akan dibahas di bagian lain.

Makalah ini disusun sebagai berikut. Bagian 2 menyajikan rangkuman sampel bintang tipe FGK yang dianalisis dalam WG11. Pada Bagian 3, kami menyajikan karakteristik umum dari

data spektroskopi yang digunakan dalam analisis. Bagian 4 menjelaskan sifat-sifat umum dari strategi analisis berganda dan prosedur homogenisasi. Diikuti oleh Bagian 5, di mana kami mendeskripsikan alat umum yang telah ditentukan untuk analisis. Bagian selanjutnya menyajikan setiap produk data yang diperoleh dalam analisis kami, membahas perbandingan metode dan, jika memungkinkan, membandingkan hasil akhir yang direkomendasikan dengan parameter referensi kalibrator. Lebar ekuivalen dibahas di Bagian 6, parameter atmosfer bintang di Bagian 7, dan kelimpahan unsur di Bagian 8. Bagian 9 merangkum analisis dan menyoroti nilai ilmiah dari data yang dihasilkan di sini. Dua lampiran melengkapi makalah ini. Lampiran A berisi rincian metodologi individual yang digunakan oleh masing-masing Simpul⁵ yang terlibat dalam analisis data. Lampiran B menyajikan analisis verifikasi ilmiah iDR1 dan membahas perbedaan antara analisis tersebut dengan analisis yang diterapkan untuk iDR2.

2. Bintang-bintang tipe FGK yang diamati dengan UVES

Target utama tipe akhir yang diamati dengan UVES dalam Survei *Gaia-ESO* adalah katai tipe FG di tetangga-tudung matahari dan raksasa rumpun di gugus terbuka usia tua (usia > 1 Gyr) dan usia menengah (usia 0,1 Gyr << 1 Gyr). Selain itu, target-target berikut ini juga ada: 1) kandidat bintang rumpun raksasa di piringan dalam dan tonjolan; 2) bintang-bintang raksasa tipe-K di area luar

3) bintang-bintang urutan utama dan PMS di gugus muda dan di dekat usia menengah; 4) bintang-bintang medan di garis pandang gugus terbuka; 5) bintang-bintang raksasa di beberapa gugus bola yang diamati untuk tujuan kalibrasi; 6) bintang-bintang raksasa dan katai di medan yang diamati oleh satelit CoRoT, yang digunakan di sini untuk tujuan kalibrasi. Gambar 1 menunjukkan bagaimana bintang-bintang yang menjadi bagian dari iDR2 terdistribusi pada bidang $T_{\text{eff}} - \log g$ (dihitung seperti yang dijelaskan pada Bab 7).

Pengamatan target lingkungan surya Bima Sakti dengan UVES dilakukan secara paralel dengan pengamatan Jerapah. Artinya, waktu penyinaran direncanakan sesuai dengan pengamatan yang dilakukan dengan serat Giraffe (target hingga $V = 19$ mag). Target-target UVES ini dipilih berdasarkan warna inframerah dekatnya sebagai bintang katai FG/bintang mati dengan magnitudo sampai dengan $J = 14$ mag. Tujuannya adalah untuk mengamati sampel

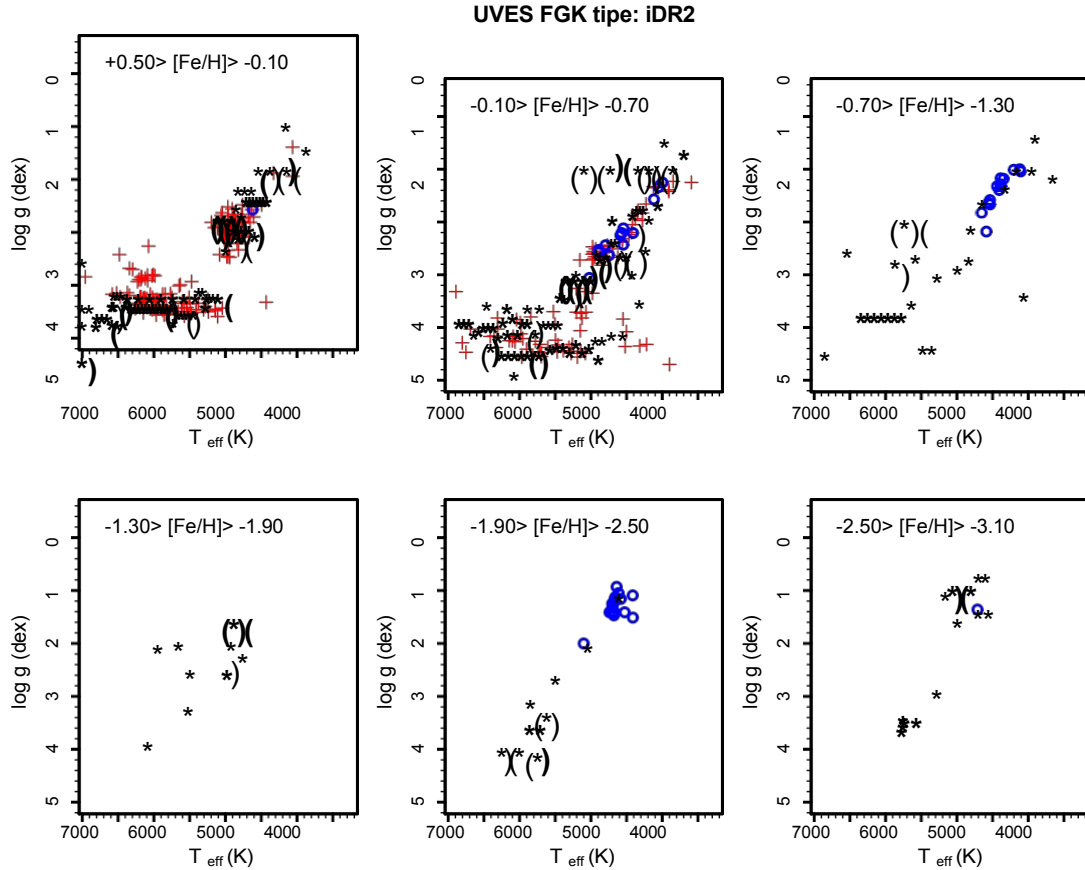
~5000 bintang tipe FG dalam jarak 2 kpc dari Matahari untuk mendapatkan fungsi distribusi kinematik-multielemen berekor dari lingkungan Matahari. Sampel ini mencakup sebagian besar bintang cakram tipis dan tebal, dari segala usia dan metalitas, tapi juga sebagian kecil bintang halo lokal.

Pemilihan target didasarkan pada fotometri (sumber titik dengan kualitas 2MASS (Skrutskie et al. 2006) bendera "AAA"). Sebuah kotak didefinisikan dalam diagram magnitudo-warna dengan batas-batas $12 J < 14$ dan $0,23 < (J - K) < 0,45 + 0,5 \times E(B - V)$. The Peta Schlegel dkk. (1998.) digunakan untuk menentukan kepunahan $E(B - V)$ Target-target yang dipilih sebelum bulan April 2012 memiliki potongan paling terang pada $J = 11$, bukan 12. Ketika tidak ada cukup banyak target, tepi merah diperpanjang. Ketika ada terlalu banyak target potensial, sebuah algoritma akan memilih jumlah bintang yang kurang lebih sama untuk setiap bin magnitudo dan sisanya akan ditandai sebagai prioritas yang lebih rendah. Pembahasan lengkap mengenai pemilihan target lapangan akan dibahas di Gilmore dkk. (dalam persiapan).

Pada gugus terbuka, sementara kami menggunakan Giraffe untuk menargetkan sampel lengkap anggota hingga $V = 19$ mag, dengan serat UVES kami mengamati objek-objek utama yang lebih terang (hingga $V = 16,5$ mag). Spektrum tersebut digunakan untuk mendapatkan parameter atmosfer yang akurat dan

⁴ <http://ges.roe.ac.uk/index.html>

⁵ Mengikuti terminologi Survei Gaia-ESO yang diadopsi, masing-masing kelompok analisis yang saling bergantung disebut sebagai "Node" analisis yang berbeda.



Gbr. 1. Distribusi bintang-bintang tipe FGK dari iDR2 pada bidang $T_{\text{eff}} - \log g$. Panel-panel tersebut dibagi berdasarkan metalikitas. Bintang hitam adalah bintang medan, tanda silang merah adalah bintang-bintang yang diamati di medan gugus terbuka, dan lingkaran biru adalah bintang-bintang yang diamati di medan gugus bola.

penentuan kelimpahan. Untuk gugus usia tua dan menengah, serai-serai UVES sebagian besar dialokasikan pada bintang-bintang raksasa rumpun merah. Bintang-bintang urutan utama juga diamati gugus-gugus yang berusia menengah. Pada gugus muda, kami juga menggunakan serai UVES untuk mengamati bintang-bintang urutan utama dan bintang-bintang PMS yang terpilih. Objek-objek ini pertama-tama dianalisis oleh WG analisis PMS (lihat [Lanzafame et al. . 2014](#)) Bintang-bintang yang dianggap sebagai bintang tipe FGK normal kemudian ditambahkan ke dalam sampel analisis (yaitu bintang PMS yang tidak memiliki selubung, bukan anggota gugus, dan bintang deret utama). Di dalam gugus, waktu eksposur direncanakan untuk pengamatan yang dilakukan dengan serai UVES. Di dekat ~ 1000 bintang tipe FGK harus diamati dengan UVES di dalam gugus pada akhir survei. Informasi yang diperoleh dari spektrum UVES akan memungkinkan karakterisasi kimiawi yang kuat dari gugus, studi variasi kimiawi antar bintang, dan akan menjadi masukan yang sangat penting untuk studi evolusi bintang.

3. Data

Bintang tipe akhir diamati dengan UVES dalam pengaturan yang berpusat pada 580 nm. Spektrum diekspos pada dua CCD, menghasilkan cakupan panjang gelombang 470-684 nm dengan celah ~ 5 nm di bagian tengah. Serai FLAMES-UVES memiliki bukaan di langit sebesar 1° , menghasilkan daya resolusi $R = 47.000$.

Data UVES direduksi dengan menggunakan pipeline ESO UVES dan skrip khusus yang dijelaskan dalam [Sacco dkk. \(2014\)](#). Beberapa produk data sudah dibatasi pada tahap ini: kecepatan radial (v_{rad}) dan variasi potensialnya, dan tebakan pertama kecepatan rotasi yang diproyeksikan ($v \sin i$). Spektrum dikirim ke kelompok analisis dalam format FITS dengan beberapa ekstensi. Data tersedia melalui database operasional yang dihosting oleh

Cambridge Astronomical Survey Unit (CASU) dari Institute of Astronomy di University of Cambridge, Inggris.

Versi berbeda dari spektrum yang tersedia meliputi: 1) spektrum gabungan yang dikalibrasi panjang gelombang, dikurangi langit, dan dikoreksi heliosentris; 2) versi kontinum yang dinormalisasi dari spektrum yang sudah ada sebelumnya; dan 3) orde tunggal individual, panjang gelombang dikalibrasi, dikurangi langit, dan dikoreksi heliosentris. Varians kebalikan dari spektrum yang tercantum sebelumnya juga tersedia. Data tambahan yang dikumpulkan selama tahap pemilihan sampel (seperti fotometri dan gerakan yang tepat) atau yang diperoleh selama tahap reduksi data (seperti v_{rad} dan $v \sin i$) juga disediakan. Koreksi fitur tellurik belum diimplementasikan.

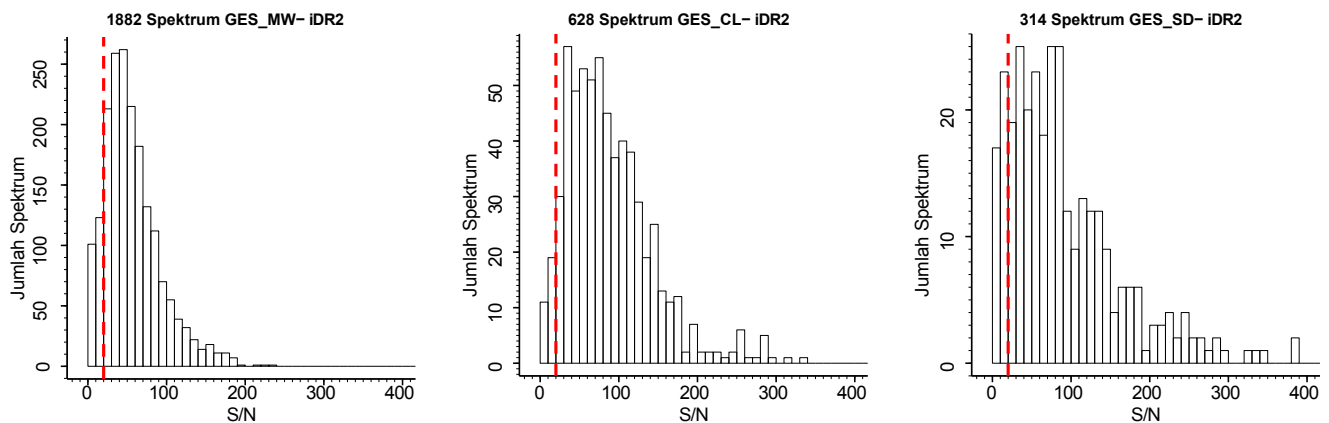
Distribusi S/N per piksel dari data iDR2 ditunjukkan pada Gbr. 2. Bintang-bintang dari sampel lingkungan matahari, dari bidang gugus terbuka, dan target kalibrasi ditampilkan secara terpisah. Penggunaan target kalibrasi dalam analisis dibahas di Bagian 7.

Selain sampel *Gaia-ESO*, iDR2 juga menyertakan pustaka spektrum resolusi tinggi dengan S/N tinggi yang dikumpulkan oleh [Blanco-Cuaresma dkk. \(2014\)](#). Kami menganalisis spektrum dari 30 bintang patokan *Gaia* yang diambil dari pustaka ini. Bintang-bintang patokan *Gaia* didefinisikan sebagai bintang-bintang terang yang sudah dikenal luas dan nilai T_{eff} dan $\log g$ yang sudah diketahui dengan baik dapat diperoleh dengan metode langsung, tidak bergantung pada spektroskopi (Heiter dkk, dalam persiapan). Metalikitas mereka dibatasi dengan baik dari studi spektroskopi yang cermat ([Jofré et al. 2014](#)), dengan menerapkan beberapa metode analisis yang sama dengan yang digunakan dalam Survei *Gaia-ESO*.

Seperti yang dijelaskan pada Bab 7, analisis bintang-bintang pembandingan ini digunakan untuk menguji akurasi internal analisis *Gaia-ESO* dan sebagai anggar untuk skala parameter *Gaia-ESO*. Selain itu, bintang-bintang ini akan digunakan sebagai kalibrasi tingkat pertama

Tabel 1. Jumlah bintang tipe FGK yang diamati dengan UVES dan bagian dari set data iDR2.

Tipe Gaia-ESO	Bintang	Komentar
Total	1447	Gaia-ESO dan data arsip.
Gaia-ESO	1412	Hanya Gaia-ESO, tidak ada data arsip.
GES_MW	941	Bintang-bintang dari medan Bima Sakti.
GES_CL	314	Bintang-bintang dari medan gugus terbuka.
GES_SD	157	Target kalibrasi.
AR_SD	55	Kalibrator dari data arsip (M 67 dan perpustakaan Blanco-Cuaresma dkk.).
GES_SD_BM	20	Bintang-bintang patokan dengan spektrum Gaia-ESO.
GES_SD_PC	2	Templat bintang yang khas.
GES_SD_GC	51	Bintang-bintang dari gugus bola kalibrasi.
GES_SD_OC	23	Bintang-bintang dari gugus terbuka kalibrasi.
GES_SD_CR	55	Bintang-bintang dari bidang CoRoT.



Gambar 2. Distribusi median S/N per piksel dari spektrum yang diamati dengan UVES yang merupakan bagian dari iDR2 (1412 bintang tipe FGK). Masing-masing dari dua bagian spektrum UVES (dari setiap CCD) dihitung secara terpisah (dengan demikian, dua spektrum per bintang). Garis putus-putus merah menunjukkan $S/N = 20$. Sampel dari lingkungan matahari (GES_MW), gugus terbuka (GES_CL), dan target kalibrasi (GES_SD) ditampilkan secara terpisah. Hanya spektrum bertumpuk akhir yang disertakan dalam plot ini; spektrum eksposur tunggal, meskipun dianalisis, tidak dihitung.

untuk hasil *Gaia* (Bailer-Jones et al. 2013). Dimasukkannya bintang-bintang tersebut ke dalam sampel kami merupakan langkah untuk menjamin tingkat homogenitas yang tinggi antara hasil *Gaia-ESO* dan *Gaia*. Demikian pula, survei spektroskopi besar lainnya dapat menggunakan bintang-bintang ini (dan bintang-bintang lain dalam sampel kalibrasi *Gaia-ESO*) untuk membandingkan skala parameter astrofisika mereka dengan skala parameter kami (lihat Pancino 2012; dan Pancino dkk, dalam persiapan). Upaya ini pada akhirnya dapat mengarah pada skala global parameter astrofisika di berbagai survei spektroskopi yang berbeda. Tabel 1 merangkum jumlah bintang yang termasuk dalam kumpulan data iDR2.

4. Strategi analisis

Karena resolusinya yang tinggi dan cakupan panjang gelombangnya yang besar, spektrum UVES memungkinkan penentuan sejumlah besar besaran. Daftar ini mencakup parameter atmosfer bintang: temperatur efektif (T_{eff}), gravitasi permukaan ($\log g$), mikroturbulensi (ξ); metalitas bintang $[\text{Fe}/\text{H}]$; kelimpahan unsur sebanyak yang dimungkinkan oleh parameter S/N dan astrofisika; serta indikator aktivitas kromosfer⁷, jika relevan.

⁽⁶⁾ Metalikitas sebagai parameter atmosfer merujuk pada kon- disi global logam di fotosfer bintang. Biasanya kelimpahan Fe digunakan sebagai proksi dari metalitas. Hal ini berlaku untuk beberapa metodologi analisis yang digunakan di sini, tapi untuk metodologi lainnya, nilai metalitas global

ditentukan (lihat setiap metode di Lampiran A).

⁽⁷⁾ Indikator aktivitas kromosfer belum diturunkan dari spektrum yang dibahas di sini. Penghitungan jumlah ini direncanakan

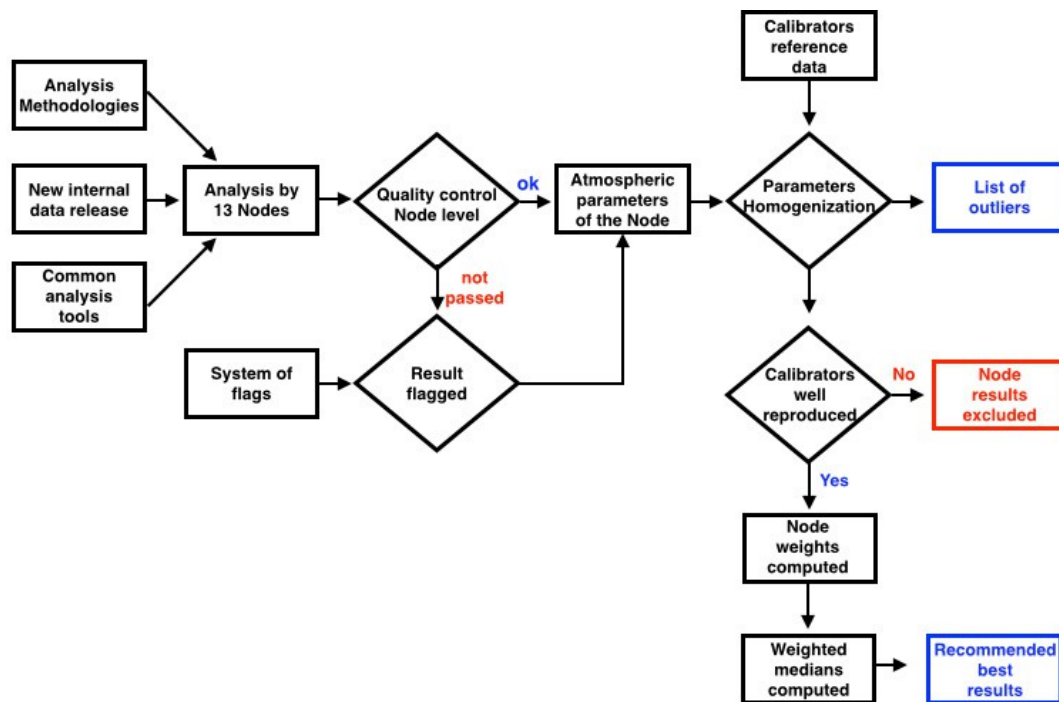
Pada bagian ini, kami meringkas strategi umum analisis spektroskopi kami, termasuk kontrol kualitas dan langkah-langkah homogenisasi. Kami hanya menyajikan strategi analisis yang diadopsi selama analisis iDR2 yang digunakan untuk menghitung jumlah yang akan disertakan dalam rilis publik pertama. Strategi yang diterapkan selama analisis iDR1 untuk verifikasi sains berbeda dengan strategi kurasi dalam beberapa hal. Perbedaan-perbedaan ini dibahas dalam Lampiran B.

4.1. Strategi beberapa jalur pipa

Konsorsium Survei Gaia-ESO terdiri dari para ahli dalam banyak metodologi analisis spektrum standar dan tujuan khusus yang mutakhir yang saat ini digunakan dalam literatur. Hal ini memberikan kesempatan unik untuk menerapkan beberapa jalur pipa paralel pada kumpulan data yang besar. Pendekatan ini memiliki dua keuntungan utama:

1. Tidak ada satu pipeline pun yang optimal untuk menganalisa semua tipe bintang yang ada di dalam sampel (misalnya, bintang raksasa vs katai; bintang yang miskin logam vs bintang yang kaya logam). Dengan beberapa jalur, kita bisa mengidentifikasi dan menggunakan jalur yang memberikan hasil terbaik di berbagai ruang parameter. Dengan demikian, semua jenis objek dapat dianalisis dengan baik, meskipun memerlukan perlakuan khusus.
2. Kami dapat menyelidiki dan mengukur berbagai sumber error, termasuk efek yang bergantung pada metode. Hal ini memberikan hasil yang kuat

dan metode yang digunakan akan dibahas dalam makalah yang menjelaskan rilis data di masa mendatang.



Gbr. 3. Contoh alur analisis untuk parameter atmosfer dengan tugas utama dan keputusan yang ditunjukkan.

pengukuran ketepatan analisis spektroskopi. Ini adalah kesempatan untuk menemukan, berdasarkan bintang per bintang, sejauh mana parameter absolut mereka dapat dipercaya.

Keduanya merupakan keuntungan yang tak ternilai dalam survei dengan target yang mencakup berbagai parameter atmosfer. Kami telah menyebutkan sebelumnya bahwa sebuah sistem dengan beberapa analisis telah diterapkan untuk menangani data *Gaia* (Bailer-Jones dkk. 2013). Tentunya, strategi beberapa jalur juga menambah kompleksitas pada proses analisis dan pemahaman hasilnya. Selain itu, perbandingan antara analisis tidak dapat menangkap semua ketidakpastian sistematis dalam analisis spektroskopi, seperti yang disebabkan oleh keterbatasan model atmosfer atau, misalnya, mengabaikan efek non-LTE pada parameter atmosfer (seperti yang terjadi pada sebagian besar metode yang diimplementasikan di sini, kecuali LUMBA Node - Bagian. A.8).

Untuk menjamin bahwa kami dapat memberikan hasil terbaik, dengan ketidakpastian yang terkuantifikasi dengan baik, kami telah membuat serangkaian pengujian kritis untuk mengevaluasi hasil, dan membawanya ke skala parameter tunggal. Gambar 3 menggambarkan alur strategi analisis kami, seperti yang diterapkan pada parameter atmosfer. Kami membahas sifat-sifat umum dari langkah-langkah ini, dan hasil spesifik untuk setiap produk data disajikan pada Bagian 6 untuk EW, pada Bagian 7 untuk parameter atmosfer, dan pada Bagian 8 untuk kelimpahan.

4.2. Analisis simpul

Analisis spektroskopi dilakukan oleh 13 di fferent analisis Node. Metodologi dan kode yang digunakan oleh setiap Node dijelaskan secara rinci dalam Lampiran A dan dirangkum dalam Tabel 2. Implementasi dan keterbatasan masing-masing kode dibahas secara rinci di tempat lain (referensi diberikan dalam Lampiran).

Kami menekankan bahwa semua Node menganalisis data yang sama, karena pengumpulan data merupakan langkah yang dilakukan secara independen dari analisis spektroskopi. Selain itu, sejumlah "alat bantu umum" telah ditetapkan untuk menjamin tingkat homogenitas pada hasil akhir. Alat-alat ini meliputi: penggunaan daftar garis umum

(garis atom dan molekul), penggunaan satu set model atmosfer, dan analisis tar- get kalibrasi umum. Batasan-batasan ini dibagi dengan WG *Gaia-ESO* lainnya, terutama dengan WG yang bertanggung jawab untuk analisis spektrum Jerapah dari bintang-bintang tipe FGK. Langkah-langkah ini juga diambil untuk memudahkan pekerjaan dalam menempatkan hasil *Gaia-ESO* secara keseluruhan ke dalam satu skala yang homogen (lihat François et al., dalam persiapan). Selain itu, untuk penggunaan ketika dibutuhkan oleh beberapa metodologi analisis, kalibrasi turbulensi mikro direkomendasikan dan perpustakaan spektrum sintetis yang dihitung dengan daftar baris yang sama juga tersedia. Penjelasan lebih lanjut mengenai alat ini diberikan dalam Bab 5, atau akan dibahas dalam publikasi yang akan datang.

Setiap Node melakukan kontrol kualitas pertama terhadap hasil analisis mereka. Mereka mengidentifikasi objek-objek di mana analisis gagal, dan menyelidiki batas-batas di mana hasil mereka dapat dipercaya. Sebuah kamus bendera digunakan pada tahap ini. Bendera-bendera tersebut mencakup kemungkinan untuk mengidentifikasi: i) keanehan fenomenologis (misalnya, garis emisi, multiplisitas, atau rotasi yang cepat); ii) pernyataan klasifikasi bintang, yang menunjukkan, misalnya, tahap evolusi tertentu (misalnya, katai putih, post-AGB) atau sifat-sifat seperti garis yang kuat yang disebabkan oleh penambahan karbon; dan iii) masalah teknis, seperti masalah reduksi data, sinyal-ke-noise, atau masalah konvergensi analitik. Bendera-bendera tersebut akan menjadi bagian dari produk yang dirilis dan kamus lengkapnya akan dijelaskan di tempat lain (Gilmore dkk., dalam persiapan dan dokumentasi rilis).

4.3. Homogenisasi parameter

Yang dimaksud dengan homogenisasi parameter adalah prosedur pengecekan kinerja analisis Node dan penetapan nilai fisual yang direkomendasikan. Pada langkah homogenisasi ini, bintang-bintang yang hanya memiliki sedikit Node (tiga atau kurang) yang telah menyediakan parameter, spektrumnya akan diperiksa satu per satu. Untuk sebagian besar kasus ini, alasan kegagalan analisis dapat dengan mudah dideteksi (misalnya rotasi yang cepat, garis emisi, masalah reduksi data). Daftar pencilan, termasuk bendera yang sesuai.

Tabel 2. Ringkasan metodologi analisis yang digunakan oleh setiap Node yang terlibat dalam WG11.

Simpul	Kontak	Kode	Jenis metode
Bologna	E. Pancino	DAOSPEC dan GALA	Lebar yang setara
Catania (OACT)	A. Frasca	ROTFIT	Perpustakaan spektrum yang
diamati CAUP	S. Sousa	ARES dan MOOG	Lebar yang setara Konsepsi
	S. Villanova	DAOSPEC dan GALA	Lebar yang setara EPIArBo
	L. Magrini	DAOSPEC dan FAMA	Lebar yang setara
IAC-AIP	C. Allende Prieto	FERRE	Perpustakaan spektrum sintetis
Liège	T. Morel	GAUFRE	Lebar yang setara
LUMBA	S. Feltzing	SGU berdasarkan UKM	Spektrum sintetis yang dihitung dengan
cepat Bagus	V. Hill	MATISSE	Perpustakaan spektrum sintetis
Paris-Heidelberg	L. Sbordone	MyGisFOS	Perpustakaan spektrum
sintetis UCM	D. Montes	ARES dan StePar	Lebar yang setara
ULB	S. Van Eck	BACCHUS	Spektrum sintetis yang dihitung dengan cepat
Vilnius	G. Tautvaišienė	DAOSPEC dan MOOG	Lebar yang setara

Parameter atmosfer untuk bintang-bintang ini tidak tersedia di , dan daftarnya diteruskan ke WG yang bertanggung jawab atas objek-objek pencilan untuk diselidiki lebih lanjut.

Untuk mengevaluasi secara kritis kinerja Node, kami menggunakan serangkaian kalibrator. Bintang-bintang pembandingan *Gaia*, sekumpulan~30 bintang dengan parameter fundamental yang terdefinisi dengan baik (Heiter dkk., dalam persiapan), merupakan tingkat pertama kalibrasi. Bintang-bintang tersebut juga digunakan sebagai jangkar untuk menentukan skala akhir dari pa-rameter Gaia-ESO. Untuk kalibrasi tingkat kedua, kami menggunakan serangkaian gugus terbuka dan gugus bola, di mana konsistensi nilai T_{eff} vs. $\log g$ dapat diperiksa. Tingkat kalibrasi lainnya dapat dilakukan dengan menggunakan bintang-bintang yang diamati oleh satelit CoRoT, dimana nilai $\log g$ asteroseismik sedang dihitung. Pemeriksaan ketiga ini akan diimplementasikan pada rilis mendatang.

Performa terhadap tolok ukur dinilai secara terpisah dalam tiga wilayah ruang parameter: 1) *katai kaya logam*: bintang-bintang dengan $[\text{Fe}/\text{H}] > -1,00$ dan $\log g > 3,5$; 2) bintang *raksasa kaya logam*: bintang-bintang dengan $[\text{Fe}/\text{H}] > -1,00$ dan $\log g \leq 3,5$; dan 3) *bintang-bintang miskin logam*: bintang-bintang dengan $[\text{Fe}/\text{H}] \leq -1,00$. Hasil pengamatan yang gagal dalam pengujian dengan kalibrator tidak disertakan. Untuk hasil yang tersisa, kami menentukan bobot berdasarkan seberapa baik mereka dapat parameter referensi bintang-bintang tersebut.

Bobot ini digunakan untuk menghitung nilai median tertimbang untuk setiap parameter atmosfer. Median tertimbang diadopsi sebagai nilai terbaik yang direkomendasikan dari parameter atmosfer. Median digunakan karena kuat terhadap pencilan, meminimalkan pengaruh hasil yang kurang konsisten. Bobot membantu memilih metode terbaik di setiap wilayah ruang parameter, dan memaksa skala untuk mereproduksi parameter sebenarnya dari bintang-bintang patokan. Ini adalah keuntungan yang signifikan dari pendekatan kami dibandingkan dengan menggunakan Matahari sebagai satu-satunya bintang acuan.

Pendekatan median-tertimbang juga digunakan untuk kelimpahan bintang. Bedanya, selain Matahari, tidak ada referensi dasar untuk kelimpahan bintang. Oleh karena itu, kami menggabungkan nilai Node individual dengan menggunakan bobot yang sama dengan yang ditentukan untuk parameter atmosfer. Median tertimbang dihitung berdasarkan baris per baris. Kelimpahan akhir sebuah elemen adalah median dari nilai garis. Dalam Bagian. 6-8, kami membahas secara rinci pendekatan yang digunakan untuk menentukan nilai akhir yang direkomendasikan untuk EW, parameter atmosfer, dan kelimpahan.

Ketika menggunakan hasil *Gaia-ESO*, nilai akhir yang direkomendasikan dengan ketidakpastiannya dalam hal akurasi dan presisi lebih disukai. Ini adalah nilai yang telah dievaluasi secara kritis dan dikalibrasi ke sistem yang ditentukan oleh tolok ukur *Gaia*.

5. Alat analisis umum

5.1. Daftar baris

Daftar garis Survei Gaia-ESO adalah kompilasi data atom dan molekul eksperimental dan teoretis. Seperti halnya strategi analisis, daftar baris akan terus berkembang, diperbarui dan disempurnakan sebelum siklus analisis yang baru. Rincian dari kompilasi ini, dan daftar lengkapnya akan disediakan dalam publikasi terpisah (Heiter et al., dalam persiapan).

Daftar baris versi 4.0 digunakan untuk menganalisis data iDR2. Daftar molekul meliputi: C_2 (^{12,13} C^{12,(13)} C), CaH, ^{12,13} CH, ^{12,(13)} CN, FeH, MgH, NH, OH, SiH, ^{46,47,48,49,50} TiO, VO, dan ^{90, 91, 92, 94, 96} ZrO. Transisi atom yang diperlukan untuk sintesis spektrum dan analisis lebar ekuivalen disertakan. Jika diperlukan, pergeseran isotop dan struktur hyperfine (HFS) dimasukkan (untuk Sc I, V I, Mn I, Co I, Cu I, Ba II, Eu II, La II, Pr II,

Nd II, Sm II). Beberapa kekuatan osilator atom yang baru yang dihitung untuk survei ini (Ruffoni et al. 2014). Perluasan kolisional oleh hidrogen dianggap mengikuti teori yang dikembangkan oleh Anstee & O'Mara (1991) dan Barklem & O'Mara (1998), jika tersedia, termasuk beberapa perhitungan perluasan baru yang belum dipublikasikan yang akan dibahas dalam Heiter dkk. (dalam persiapan).

Kelompok daftar garis secara kritis meninjau garis-garis yang digunakan untuk analisis EW dan merancang sebuah sistem bendera yang digunakan bersama dengan daftar garis (juga akan dipublikasikan). Bendera-bendera tersebut mengindikasikan kualitas probabilitas transisi dan sifat-sifat pencampuran garis, sebagaimana dievaluasi dalam spektrum Matahari dan Arcturus.

Mungkin perlu ditekankan di sini bahwa meskipun semua Node memiliki akses ke daftar garis "master" *Gaia-ESO* yang sama, hal ini tidak berarti bahwa metode-metode tersebut menggunakan sub-sampel garis spektral yang sama. Pilihan garis yang digunakan untuk membatasi parameter dan kelimpahan dibuat oleh masing-masing Node sesuai dengan rincian metodologi mereka. Seperti pada umumnya, beberapa kelompok yang menggunakan EW lebih suka memilih sekumpulan garis terbaik yang terbatas, sementara kelompok lain lebih suka mengandalkan sifat statistik dari banyak garis. Kelompok lain lebih suka menggunakan garis yang kuat seperti H α untuk membantu membatasi parameter. Selain itu, ada metode yang mengandalkan pencocokan sebagian besar spektrum yang diamati dibandingkan dengan spektrum sintetis. Metode-metode ini membutuhkan daftar garis yang lebih luas, tidak hanya yang berguna untuk analisis EW. Hal ini untuk menekankan bahwa, meskipun daftar garis umum diadopsi, masih ada kebebasan yang cukup besar tentang bagaimana daftar garis ini akhirnya digunakan oleh setiap Node.

5.2. Suasana model

Untuk model atmosfer, kami menggunakan grid M ARCS dari [Gustafsson dkk. \(2008\)](#). Kisi-kisi ini terdiri dari model simetris-bola yang dilengkapi dengan model paralel-bidang untuk bintang-bintang dengan gravitasi permukaan yang tinggi (antara $\log g = 3.0$ dan 5.0 , atau 5.5 untuk model-model yang lebih dingin). Model ini mengasumsikan kesetimbangan hidrostatik, kesetimbangan termodinamika lokal (LTE), dan menggunakan teori konveksi panjang-pencampuran. Model MARCS mengasumsikan kelimpahan matahari dari [Grevesse dkk. \(2007\)](#) dan ditingkatkan α -nya pada logam-logam yang rendah.

Kami menyatakan di sini bahwa cakupan kisi-kisi MARCS dalam rezim miskin logam terkadang tidak lengkap. Beberapa metode analisis harus bisa melakukan interpolasi di antara kisi-kisi model dengan cepat. Untuk bintang-bintang yang miskin logam, sering kali beberapa model yang dibutuhkan untuk interpolasi ini tidak tersedia. Metode-metode ini akan gagal ketika batas kisi-kisi tercapai. Aspek ini menimbulkan satu kerumitan tambahan dalam analisis bintang-bintang miskin logam.

Dalam *Gaia-ESO*, kami memutuskan untuk mencantumkan kelimpahan dalam format " $\log s$ "⁸, tanpa mengasumsikan komposisi matahari. Namun demikian, ketika metalitas sebagai parameter atmosfer dalam format $[\text{Fe}/\text{H}]$ ⁹ dikutip dalam penelitian ini, kami mengadopsi kelimpahan Fe matahari dari [Grevesse dkk. \(2007\)](#), $\log s(\text{Fe})_{\odot} = 7.45$, kecuali dinyatakan lain.

5.3. Perpustakaan spektrum

Untuk metodologi analisis yang menggunakan spektrum sintetik yang telah dikomputasi sebelumnya, sebuah pustaka spektrum sintetik *Gaia-ESO* telah disediakan. Di sini kami hanya memberikan deskripsi singkat tentang pustaka tersebut, diskusi lengkapnya diberikan dalam [Recio-Blanco dkk. \(dalam persiapan\)](#).

Spektrum sintetik dihitung menggunakan perangkat lunak yang sama dengan yang digunakan untuk menghitung kisi-kisi AMBRE spektrum sintetik ([de Laverny dkk. 2012](#)). Spektrum tersebut memiliki $R \sim 300\,000$ dan mencakup seluruh wilayah panjang gelombang dari pengaturan UVES dengan pengambilan sampel 0.004 . Spektrum dengan tingkat peningkatan alfa yang berbeda dihitung, untuk memperhitungkan umpan balik dari donor elektron elemen α yang penting pada struktur atmosfer. Kisi-kisi ini dihitung dengan menggunakan daftar garis *Gaia-ESO* yang lengkap (atom + molekul). Setiap kali daftar garis diperbarui, kisi baru dihitung.

5.4. Kalibrasi mikroturbulensi

Kalibrasi mikroturbulensi *Gaia-ESO* disediakan dan direkomendasikan untuk metode-metode yang tidak mendapatkan parameter ini dari analisis spektrum. Ini digunakan oleh beberapa Node dalam analisis spektrum UVES, tetapi lebih banyak digunakan dalam analisis spektrum Jerapah ([Recio-Blanco dkk.](#), dalam persiapan) karena mengurangi jumlah garis Fe I bersih yang tersedia untuk membatasi parameter ini.

Hubungan-hubungan ini didasarkan pada hasil verifikasi sains UVES (diperoleh seperti yang dijelaskan pada Lampiran B), pada parameter bintang-bintang patokan *Gaia* yang dijelaskan oleh [Jofré dkk. \(2014\)](#), dan pada data gugus bola dari sumber-sumber literatur. Tiga hubungan diturunkan, untuk jenis bintang yang berbeda, dan berlaku untuk $4000 < T_{\text{eff}}(\text{K}) < 7000$, $0.0 < \log g(\text{dex}) < 5.0$, dan $-4.5 < [\text{Fe}/\text{H}](\text{dex}) < +1.0$. Diskusi lengkap mengenai hubungan ini akan disajikan dalam [Bergemann dkk. \(dalam persiapan\)](#).

⁸ $\log s(X) = \log [N(X)/N(\text{H})] + 12$, yaitu kelimpahan logaritmik dengan angka pada skala di mana jumlah atom hidrogen adalah 10^{12} .

⁹ $[A/B] = \log [N(A)/N(B)]_{\odot} - \log [N(A)/N(B)]_{\star}$

6. Lebar yang setara

Beberapa metodologi analisis yang dijelaskan di Lampiran A bergantung pada pengukuran EW untuk menentukan parameter atmosfer bintang dan kelimpahan unsur bintang. Hasil pengukuran EW ini akan dirilis sebagai bagian dari produk data *Gaia-ESO*. Lebar ekuivalen akan diberikan hanya untuk garis yang secara efektif digunakan oleh setidaknya satu Node dalam analisisnya. Tabel-tabel yang akan dirilis ke komunitas akan mencakup: rata-rata EW, dispersi beberapa pengukuran, jumlah pengukuran, dan flag (jika ada) untuk setiap garis.

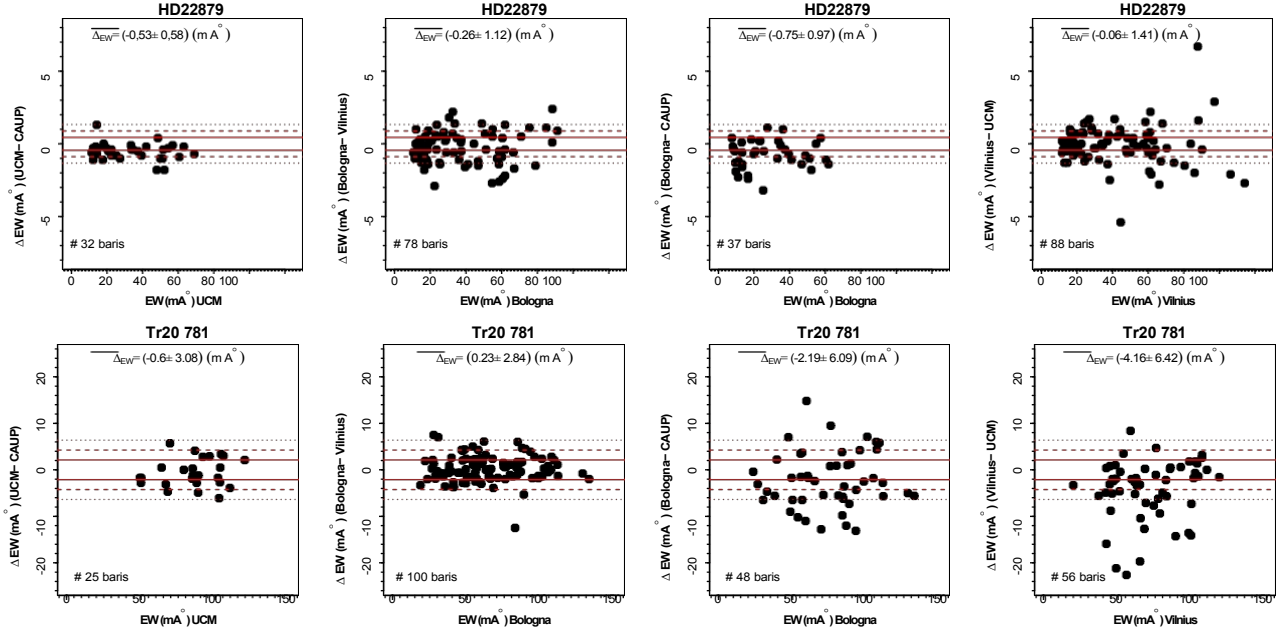
Pada bagian ini, kami membahas perbandingan beberapa ukuran EW dalam spektrum yang merupakan bagian dari kumpulan data iDR2. EW tersedia untuk 1265 dari 1268 bintang yang diamati oleh Survei *Gaia-ESO* yang parameter atmosfernya telah ditentukan.

Simpul yang menggunakan metode analisis berbasis EW tradisional adalah: Bologna, CAUP, Concepcion, EPInArBo, Liège, UCM, dan Vilnius. Node Liège mengukur EW dengan kode GAUFRE, namun, pengukurannya hilang karena masalah komputer. Oleh karena itu, pembahasan pada bagian ini berkonsentrasi pada hasil dari dua kode yang mengukur EW secara otomatis: ARES ([Sousa dkk. 2007](#)) dan DAOSPEC ([Stetson & Pancino 2008, 2010](#)). Saat ini, hanya DAOSPEC yang menghasilkan nilai kesalahan pengukuran EW.

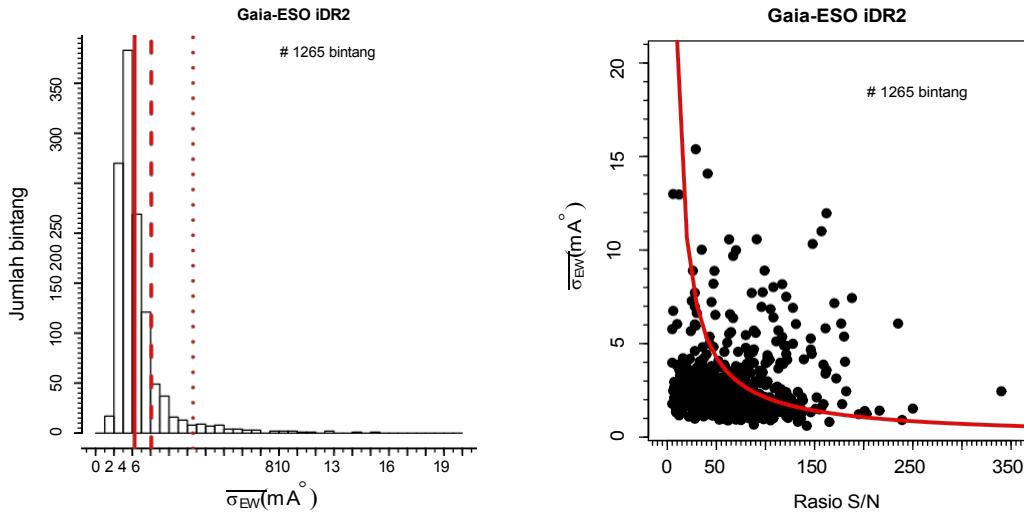
Gambar 4 menunjukkan perbandingan antara EW dari garis-garis elemen yang berbeda yang diukur oleh kelompok-kelompok yang berbeda pada dua bintang. Kedua bintang tersebut mewakili kasus yang mudah dan sulit untuk mengukur EW. Satu bintang adalah katai miskin logam yang diamati dengan S/N per piksel yang tinggi (~ 260); bintang lainnya adalah raksasa kaya logam yang diamati dengan S/N per piksel yang relatif rendah (~ 50). Dalam plot ini dan plot lainnya di bagian ini, kami membandingkan sebaran beberapa pengukuran dengan ketidakpastian statistik dalam pengukuran EW yang diberikan oleh "rumus" (Persamaan (7) dari artikel tersebut). Rumus ini [Cayrel \(1988\)](#) memberikan ketidakpastian EW karena noise acak ketika menyesuaikan profil garis dengan Gaussian. Nilai ini digunakan di sini sebagai referensi untuk "ketidakpastian yang diharapkan" tetapi tidak memperhitungkan semua sumber kesalahan yang mungkin terjadi, seperti penempatan kontinum.

Pada Gbr. 4, EW yang diukur dengan kode yang sama oleh Node yang berbeda (plot kiri menggunakan ARES dan plot tengah-kiri menggunakan DAOSPEC) cenderung setuju dalam 2 atau 3σ , meskipun perbedaan sistematis mungkin ada dalam beberapa kasus. Ketika membandingkan EW yang diukur dengan ARES (Node CAUP dan UCM) dengan yang diukur dengan DAOSPEC (Node Bologna dan Vilnius), plot kanan-tengah dan kanan pada Gbr. 4, terlihat bahwa sebarannya meningkat. Tampaknya tidak ada tren antara ΔEW dan EW itu sendiri. Tren seperti itu dapat menghasilkan bias dalam penentuan mikroturbulensi.

Gambar 5 menggambarkan perilaku $\overline{\sigma_{\text{EW}}}$. Untuk setiap garis spektral yang digunakan untuk penentuan kelimpahan pada suatu bintang, nilai rata-rata dari beberapa penentuan EW dihitung bersama simpangan bakunya. Untuk setiap bintang, kami mendefinisikan σ_{EW} sebagai rata-rata semua standar deviasi garis yang diukur pada bintang tersebut. Gambar 5 menunjukkan bahwa untuk sebagian besar bintang, pengukuran cenderung sesuai dengan tingkat yang lebih baik daripada ketidakpastian statistik yang diharapkan yang diberikan oleh S/N spektrum. Sekitar 70% bintang memiliki bagian spektrum biru dengan median S/N per piksel di bawah 70. Untuk S/N ini, ketidakpastian 2σ yang diharapkan dari EW adalah sekitar 3 mÅ . Seperti yang ditunjukkan pada panel kiri Gambar 5, sekitar 13,7% bintang memiliki σ_{EW} di atas itu. Namun, pada beberapa kasus, σ_{EW} bisa mencapai $\sim 15\text{ mÅ}$. Perbandingan yang lebih detail dengan ekspektasi S/N, panel kanan



Gbr. 4. Perbandingan antara lebar ekuivalen yang diukur dengan berbagai simpul untuk dua bintang. *Baris atas:* bintang HD 22879, bintang patokan yang digunakan untuk kalibrasi dengan $T_{\text{eff}} = 5786$ K, $\log g = 4.23$, dan $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.90$. Nilai rata-rata S/N per piksel adalah 239 dan 283 untuk bagian spektrum biru dan merah. Garis merah menunjukkan ketidakpastian 1σ (garis solid), 2σ (garis putus-putus), dan 3σ (garis putus-putus) dari EW yang dihitung dengan rumus Cayrel (1988), dengan menggunakan $\text{FWHM} = 0.190$, ukuran piksel $= 0.0232 \text{ \AA}$, dan $S/N = 260$. *Baris bawah:* sebuah rumpun raksasa dalam gugus terbuka Trumpler 20 (Trumpler 20 MG 781 dalam sistem penomoran McSwain & Gies 2005), dengan $T_{\text{eff}} = 4850$ K, $\log g = 2.75$, dan $[\text{Fe}/\text{H}] = +0.15$. Nilai rata-rata S/N per piksel adalah 36 dan 68 untuk bagian biru dan merah dari spektrum. Garis merah menunjukkan ketidakpastian 1σ (garis solid), 2σ (garis putus-putus), dan 3σ (garis putus-putus) dari EW yang dihitung dengan rumus Cayrel (1988), dengan mengadopsi $\text{FWHM} = 0.190 \text{ \AA}$, ukuran piksel $= 0.0232$, dan $S/N = 50$. Pada setiap panel, perbedaan rata-rata EW dan distribusinya juga diberikan.



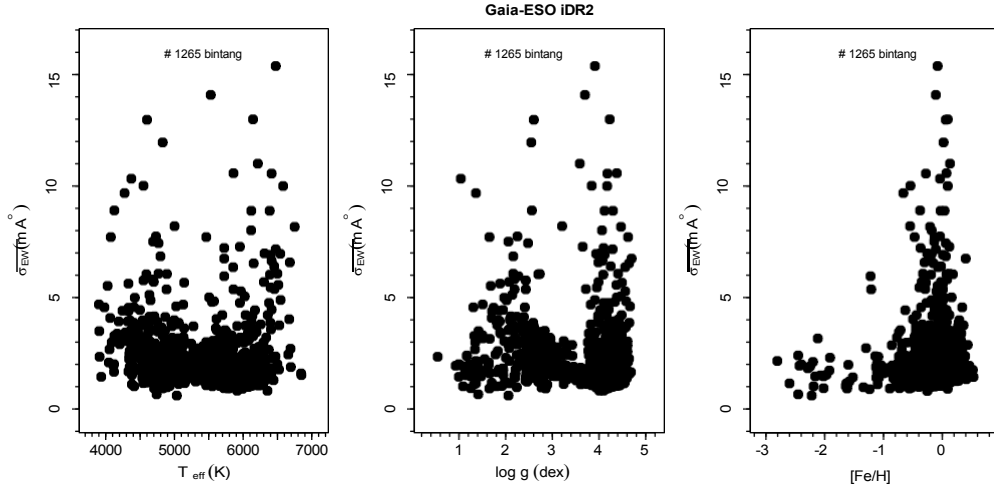
Gambar 5. *Panel kiri:* histogram σ_{EW} per bintang, dengan memperhitungkan pengukuran dari semua simpul. Juga ditampilkan garis yang menunjukkan ketidakpastian 2σ yang dihitung dengan rumus Cayrel (1988) untuk $S/N = 40$ (garis putus-putus pada 5.31 m\AA), $S/N = 70$ (garis putus-putus pada 3.04 m\AA), dan $S/N = 100$ (garis padat pada 2.12 m\AA). *Panel kanan:* ketergantungan σ_{EW} terhadap median S/N per piksel. Juga ditunjukkan nilai 2σ yang diharapkan yang diberikan oleh rumus Cayrel (1988) (sebagai garis merah).

dari gambar yang sama, menunjukkan bahwa kuantitas σ_{EW} berada di atas ekspektasi 2σ untuk sekitar 11,7% bintang.

Kasus-kasus dengan penyebaran yang lebih tinggi mungkin terkait dengan masalah-masalah yang berbeda yang menyulitkan pengukuran EW (misalnya, temperatur rendah, metalitas tinggi, dan/atau garis yang lebar). Masalah lain yang berkontribusi terhadap peningkatan sebaran dalam pengukuran antara lain: cara yang berbeda dalam mendefinisikan kontinum dalam setiap kode (kontinum global vs. kontinum lokal untuk DAOSPEC dan ARES); adanya artefak reduksi; artefak yang tidak dikenali

binaritas dalam spektrum; pola gelombang sisa dalam kontinum yang disebabkan oleh masalah dengan koreksi fungsi nyala, seperti yang kadang-kadang terlihat pada spektrum echelle S/N tinggi¹⁰; dan

¹⁰ Kami mencatat secara khusus bahwa HD 22879, yang digunakan sebagai contoh pada Gbr. 4 mengalami masalah ini. Hal ini mungkin akan lebih berdampak serius pada DAOSPEC daripada ARES, karena DAOSPEC melakukan pencocokan kontinum global untuk seluruh spektrum. Oleh karena itu, ketidakpastian yang diharapkan yang dihitung dengan rumus Cayrel (1988) untuk pengukuran EW harus diambil sebagai batas bawah.



Gbr. 6. Rata-rata dari semua deviasi standar pengukuran EW pada sebuah bintang, $\sigma_{(EW)}$, sebagai fungsi parameter atmosfer.

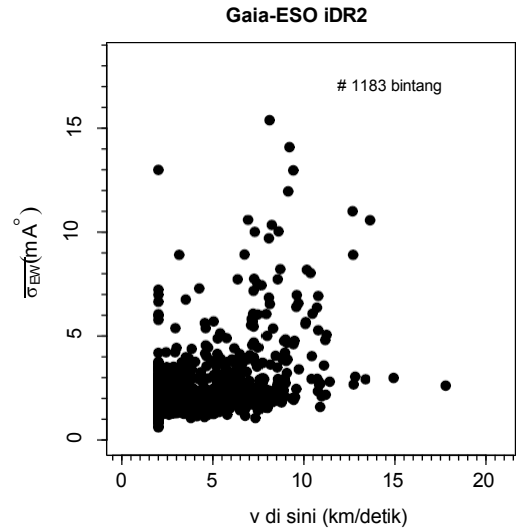
parameter dalam setiap kode yang perlu disesuaikan untuk pengukuran. Oleh karena itu, sebaran dalam pengukuran EW tidak hanya bersifat statistik.

Pada Gbr. 6, $\sigma_{(EW)}$ diplot terhadap parameter atmosfer bintang-bintang. Pada Gbr. 7, kita memplot σ_{EW} terhadap kecepatan rotasi ($v \sin i$) bintang. Tidak semua bintang memiliki nilai $v \sin i$ yang e, karena pengukuran ini gagal pada beberapa kasus (lihat Sacco et al. 2014). Gambar-gambar di atas menunjukkan bahwa sebagian besar bintang yang memiliki $\sigma_{EW} > 5$ mÅ cenderung merupakan objek yang kaya akan logam. Selain itu, sebagian dari bintang-bintang ini memiliki temperatur yang dingin dan banyak yang memiliki rotasi tinggi. Semua faktor ini meningkatkan ketidakpastian pengukuran EW dengan metode otomatis.

Bukan cakupan bagian ini untuk menyelidiki rincian mengapa kesepakatan sempurna antara beberapa pengukuran pada garis yang sama tidak diperoleh. ARES dan DAOSPEC dijelaskan secara lengkap dalam publikasi khusus di mana kedua kode tersebut dibandingkan satu sama lain dan dengan kode-kode lainnya. Oleh karena itu, kami merujuk pembaca kepada Sousa dkk. (2007), Stetson & Pancino (2008), dan Cantat-Gaudin dkk. (2014a) untuk pembahasan yang lebih rinci.

Bagian ini mendokumentasikan bagaimana kami melakukan pengukuran dan mendiskusikan kualitas hasil dan keterbatasannya. Untuk sebagian besar bintang, sebaran pada beberapa pengukuran sangat cocok dengan ketidakpastian statistik yang diestimasi dengan rumus Cayrel (1988). Dengan demikian, pengukuran EW untuk bintang-bintang ini tampaknya tidak terpengaruh oleh sumber-sumber kesalahan tambahan. Untuk bintang-bintang lainnya, banyak faktor yang berperan, beberapa di antaranya telah diidentifikasi di atas. Ketidaknormalan pada spektrum akan ditandai dalam katalog akhir.

Namun, kami telah mengidentifikasi wilayah umum dari ruang parameter di mana masalah mungkin terjadi. Kami sedang berusaha memperbaiki analisis bintang-bintang ini, dan berharap dapat memberikan hasil yang lebih baik untuk rilis mendatang. Kesepakatan yang memuaskan antara berbagai pengukuran EW diperoleh untuk sekitar 88% bintang-bintang yang dibahas di sini. Untuk bintang-bintang yang memiliki sebaran yang lebih tinggi pada EW, kami juga mengharapkan sebaran yang besar pada perbandingan parameter atmosfer dan kelimpahannya. Namun, tidak semua metodologi analisis menggunakan EW. Seperti yang akan kita bahas pada bagian berikut, semua nilai parameter atmosfer dan kelimpahan diberikan dengan estimasi penyebaran metode ke metode. Ini adalah pengukuran ketepatan nilai-nilai ini. Nilai-nilai dengan dispersi yang meningkat lebih tidak pasti dan tidak boleh diberi bobot yang sama dengan hasil yang lebih tepat.



Gbr. 7. Rata-rata dari semua deviasi standar pengukuran EW pada sebuah bintang, $\sigma_{(EW)}$, sebagai fungsi kecepatan rotasi bintang.

7. Parameter atmosfer

Seperti yang disajikan pada Lampiran A, metode yang digunakan untuk memperoleh parameter atmo-sferik berbeda dari satu simpul ke simpul lainnya. Metode-metode tersebut berkisar dari penggunaan standar EW garis Fe hingga algoritma yang berbeda yang menggunakan pustaka spektrum yang diamati dan/atau sintetis.

Setelah Node yang berbeda menyelesaikan langkah pertama analisis spektroskopi, kami menghadapi tantangan untuk menggabungkan semua hasil, memahami perbedaan dan sistematika, dan menghasilkan satu daftar dengan nilai terbaik yang direkomendasikan dari empat parameter atmosfer (T_{eff} , $\log g$, $v \sin i$, dan $[\text{Fe}/\text{H}]$).

Dalam analisis data Gaia-ESO, kami bertujuan untuk memahami ketepatan dan keakuratan yang dapat digunakan untuk menentukan parameter atmosfer. Penyebaran di antara hasil dari metodologi yang berbeda merupakan indikasi yang baik dari ketepatan nilai. Akurasi dinilai dengan menggunakan seperangkat kalibrator komprehensif yang diamati oleh Survei: bintang-bintang patokan *Gaia* dan gugus kalibrasi. Selain itu, untuk rilis selanjutnya, kami berharap dapat menggunakan bintang-bintang raksasa yang memiliki estimasi gravitasi asteroseismik, yang ditentukan dengan menggunakan kurva cahaya CoRoT, untuk membantu upaya kalibrasi (lihat, misalnya, Morel & Miglio 2012).

Tabel 3. Parameter referensi dari bintang-bintang acuan.

Bintang	T_{eff} (K)	σ_{eff} (K)	$\log g$ (dex)	$\sigma_{\log g}$ (dex)	[Fe/H] (dex)	$\sigma_{[\text{Fe}/\text{H}]}$ (dex)	Parameter Ruang	Keterangan
Matahari	5777	1	4.44	0.01	0.00	0.01	MRD	Digunakan dalam iDR2; hanya data arsip
Arcturus	4247	28	1.59	0.04	-0.53	0.01	MRG	Hanya data arsip
Procyon	6545	82	3.99	0.02	-0.04	0.01	MRD	Masalah dengan penggabungan pesanan
18 Sco	5747	29	4.43	0.01	0.01	0.01	MRD	Digunakan dalam iDR2
61 Cyg A	4339	22	4.43	0.16	-0.33	0.03	MRD	Hanya data arsip
61 Cyg B	4045	20	4.53	0.04	-0.38	0.02	MRD	Hanya data arsip
Alf Cen A	5847	68	4.31	0.02	0.24	0.01	MRD	Digunakan dalam iDR2
Alf Cet	3796	64	0.91	0.08	-0.45	0.05	MRG	Bintang keren; hanya data arsip
Alf Tau	3927	39	1.22	0.10	-0.37	0.02	MRG	Bintang keren; hanya data arsip
Bet Ara	4172	48	1.01	0.13	-0.05	0.04	MRG	Digunakan dalam iDR2
Taruhan Permata	4858	55	2.88	0.05	0.12	0.01	MRG	Hanya data arsip
Bet Hyi	5873	38	3.98	0.02	-0.07	0.01	MRD	Digunakan dalam iDR2
Taruhan Vir	6083	17	4.08	0.01	0.21	0.01	MRD	Digunakan di iDR2; masalah dengan penggabungan pesanan
Del Eri	5045	59	3.77	0.02	0.06	0.01	MRD	Digunakan dalam iDR2
Eps Eri	5050	25	4.60	0.03	-0.10	0.01	MRD	Hanya data arsip
Eps Untuk	5069	59	3.45	0.05	-0.62	0.01	MRD	Digunakan dalam iDR2
Eps Vir	4983	56	2.77	0.01	0.13	0.01	MRG	Hanya data arsip
Eta Boo	6105	19	3.80	0.02	0.30	0.01	MRD	Digunakan dalam iDR2; $v \sin i \approx 12,7 \text{ km s}^{-1}$
Gam Sge	3807	48	1.05	0.10	-0.16	0.04	MRG	Digunakan dalam iDR2; bintang keren
Ksi Hya	5044	33	2.87	0.01	0.14	0.01	MRG	Digunakan dalam iDR2
Mu Ara	5845	29	4.27	0.02	0.33	0.01	MRD	Digunakan dalam iDR2
Mu Leo	4474	52	2.50	0.07	0.26	0.02	MRG	Digunakan dalam iDR2
Tau Cet	5331	15	4.44	0.02	-0.50	0.01	MRD	Digunakan dalam iDR2
HD 22879	5786	16	4.23	0.02	-0.88	0.01	MRD	Digunakan dalam iDR2
HD 49933	6635	18	4.21	0.03	-0.46	0.01	MRD	Digunakan dalam iDR2; $v \sin i \approx 10,0 \text{ km s}^{-1}$
HD 84937	6275	17	4.11	0.06	-2.09	0.02	MPS	Digunakan dalam iDR2; bintang miskin logam; hanya data arsip
HD 107328	4496	53	2.11	0.07	-0.34	0.01	MRG	Digunakan dalam iDR2
HD 122563	4587	54	1.61	0.07	-2.74	0.01	MPS	Digunakan dalam iDR2; bintang miskin logam
HD 140283	5720	29	3.67	0.04	-2.43	0.02	MPS	Digunakan dalam iDR2; bintang miskin logam
HD 220009	4275	50	1.43	0.10	-0.75	0.01	MRG	Digunakan dalam iDR2

Catatan. T_{eff} dan $\log g$ adalah penentuan langsung (lihat Heiter et al., dalam persiapan). Metalikitas diturunkan oleh Jofré dkk. (2014). Ketidakpastian metalitas yang tercantum di sini hanya mencerminkan simpangan baku kelimpahan rata-rata garis Fe I. Selain itu, juga diberikan parameter grup ruang parameter dimana bintang tersebut berada (MRD, MRG, atau MPS - lihat teks).

Pada subbab berikut ini, kami menjelaskan bagaimana parameter atmosfer yang direkomendasikan untuk set data iDR2 ditentukan. Hasil ini akan menjadi bagian dari rilis publik Gaia-ESO yang pertama. Kami menentukan hasil yang digunakan dalam beberapa makalah verifikasi sains Gaia-ESO yang pertama dengan cara yang sedikit berbeda (Lampiran B). Kami memulai diskusi menyajikan penggunaan kalibrator utama yang digunakan dalam analisis *Gaia-ESO*.

7.1. Bintang-bintang patokan Gaia

Parameter (T_{eff} dan $\log g$) dari bintang-bintang terang yang sudah diketahui dengan baik ini tersedia dari metode langsung atau dari kalibrasi yang tidak bergantung pada spektroskopi (lihat Heiter dkk., dalam persiapan). Jofré dkk. (2014) menentukan logam-logam yang diadopsi di sini sebagai referensi dengan menggunakan parameter-parameter yang sama. Tabel 3 mengumpulkan parameter-parameter referensi dari 30 bintang acuan. Spektrum yang dianalisis mencakup pengamatan *Gaia-ESO* yang baru dan spektrum li-brary dari Blanco-Cuaresma dkk. (2014).

Skala parameter atmosfer dari hasil Gaia-ESO terkait dengan sistem yang ditentukan oleh bintang-bintang acuan ini. Ini adalah peningkatan yang cukup besar sehubungan dengan pendekatan standar menggunakan Matahari sebagai satu-satunya referensi. Bintang-bintang patokan *Gaia* tersebar di seluruh ruang parameter, yang berarti kita bisa memilih referensi yang lebih baik untuk bintang-bintang yang tidak mirip Matahari.

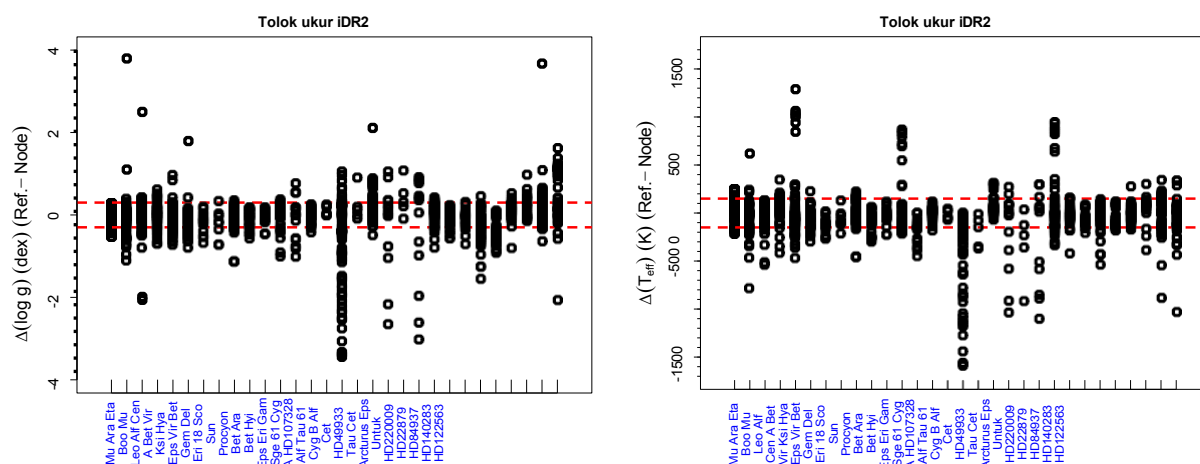
7.1.1. Keakuratan hasil Node

Kami membagi bintang-bintang patokan ke dalam tiga kelompok untuk menilai secara terpisah keakuratan hasil di berbagai sudut ruang parameter. Kelompok-kelompok tersebut adalah: 1) katai *kaya logam* (MRD): bintang-bintang dengan $[\text{Fe}/\text{H}] > -1,00$ dan $\log g > 3,5$ (terdiri dari 11 bintang patokan); 2) *raksasa kaya logam* (MRG): bintang-bintang dengan $[\text{Fe}/\text{H}] > -1,00$ dan $\log g \leq 3,5$ (terdiri dari 7 bintang patokan); dan 3) *bintang-bintang miskin logam* (MPS): bintang-bintang dengan $[\text{Fe}/\text{H}] \leq -1,00$ (terdiri dari tiga bintang patokan). Hanya satu kelompok bintang miskin logam yang didefinisikan karena hanya ada tiga bintang pembandingan dengan $[\text{Fe}/\text{H}] \leq -1,00$ yang tersedia.

Beberapa Node mengalami kesulitan dalam menganalisis data arsip. Karena spektrum diperoleh dengan spektograf yang berbeda, spektrum tersebut tersedia dalam format yang berbeda dari format standar Gaia-ESO. Masalah analisis adalah kekurangan yang disebabkan oleh penggunaan pipa otomatis yang dirancang untuk menangani sejumlah besar data dalam format yang sama. Oleh karena itu, untuk menilai akurasi hasil Node untuk iDR2, kami memutuskan untuk menggunakan: 1) hasil dari 19 bintang pembandingan yang diamati oleh *Gaia-ESO*; 2) analisis spektrum FLAMES Matahari¹¹; dan 3) analisis spektrum arsip HD 84937 (salah satu dari sedikit bintang yang miskin logam dalam daftar ini).

¹¹ Diperoleh di langit senja sore hari dan tersedia di sini <http://www.eso.org/observing/dfo/quality/GIRAFFE/pipeline/solar.html>

Node	MRD			MRG			MPS		
	$\Delta(T_{\text{eff}})$ (K)	$\Delta(\log g)$ (dex)	Num. bintang- bintang	$\Delta(T_{\text{eff}})$ (K)	$\Delta(\log g)$ (dex)	Num. bintang- bintang	$\Delta(T_{\text{eff}})$ (K)	$\Delta(\log g)$ (dex)	Num. bintang- bintang
Bologna	46	0.13	11	163	0.40	7	-	-	0
CAUP	93	0.21	8	193	0.42	4	-	-	0
Concepcion	150	0.28	8	162	0.48	5	87	1.11	1
EPINARBO	57	0.14	10	74	0.31	7	167	0.35	1
IACAIP	131	0.16	9	114	0.22	7	82	0.23	1
Liege	186	0.22	8	208	0.62	7	-	-	0
LUMBA	81	0.14	11	139	0.39	5	165	0.07	3
Bagus.	78	0.26	11	82	0.30	5	59	0.20	3
OACT	169	0.19	10	159	0.37	7	-	-	0
ParisHeidelberg	71	0.12	10	91	0.34	5	87	0.43	1
UCM	123	0.11	11	465	0.94	6	-	-	0
ULB	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vilnius	59	0.09	11	184	0.51	6	2	1.10	1

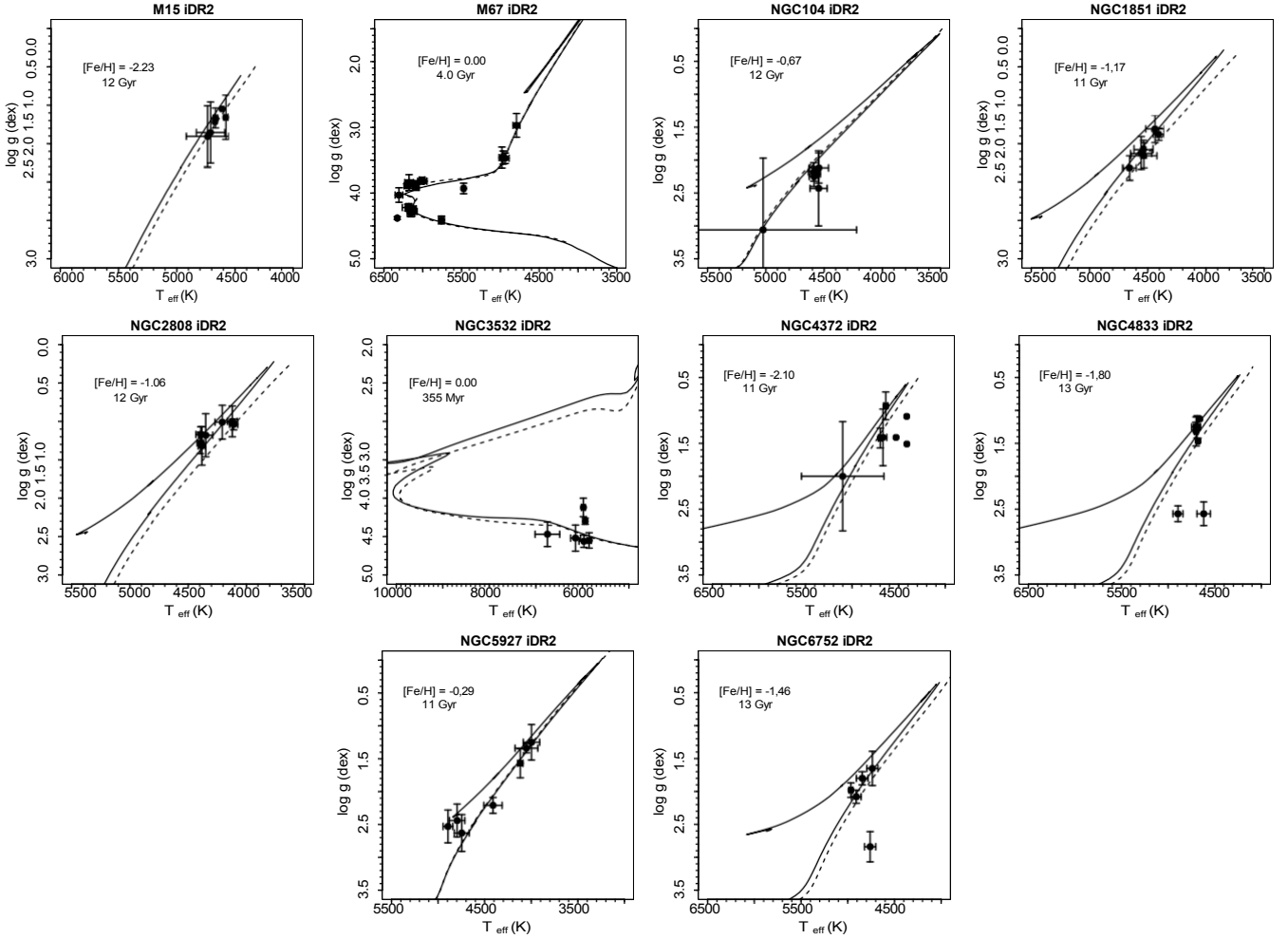


Untuk setiap Node, di masing-masing dari tiga area ruang parameter, kami menghitung selisih kuadrat rata-rata antara referensi dan parameter atmosfer turunan (hanya T_{eff} dan $\log g$) bintang. Jika selisih kuadrat rata-rata ini berada dalam $\pm 100 \text{ K}$ dan $\pm 0,20 \text{ dex}$ dari nilai referensi, hasil ulang Node dianggap sangat akurat (di wilayah ruang parameter tersebut). Perbedaan rata-rata per Node ini tercantum dalam Tabel 4. Tabel ini menunjukkan bahwa Node yang berbeda berhasil menganalisis jumlah bintang yang berbeda di setiap wilayah ruang parameter.

yang tersedia untuk Node ini, hasil mereka untuk yang miskin logam tidak digunakan.

Bias sistematis adalah salah satu komponen yang dapat memengaruhi akurasi hasil, sehingga hasilnya tampak kurang akurat. Bias ini pada prinsipnya dapat dikoreksi, sehingga hasil yang tidak bias akan lebih sesuai dengan parameter atmosfer referensi. Namun demikian, untuk iDR2, koreksi bias tidak diimplementasikan. Perbaikan ini akan diimplementasikan untuk rilis yang akan datang.

Gambar 8 menunjukkan perbandingan antara semua hasil Node untuk bintang-bintang patokan dengan nilai T_{eff} dan $\log g$ referensi. Semua hasil yang ditampilkan, termasuk analisis spektrum eksposur tunggal dari bintang-bintang tersebut, yang sebagian besar memiliki S/N per piksel yang rendah (< 20). Jadi, rentang penuh dalam nilai yang ditampilkan tidak diterjemahkan secara langsung ke ketidakpastian analisis yang sebenarnya. Akurasi akhir hanya dinilai dari hasil spektrum gabungan akhir. Sebagian besar hasil cenderung sesuai dengan nilai referensi, tetapi ada pencila. Masalah yang jelas muncul pada beberapa kasus khusus: *i*) Gam Sge, Alf Cet, dan Alf Tau merupakan bintang dingin, dengan T_{eff} \approx 4000 K, dimana hampir semua Node mengalami kesulitan dalam menganalisisnya; *ii*) Procyon dan Bet Vir memiliki spektrum yang memiliki masalah reduksi; *iii*) Eta Boo dan HD 49933 merupakan bintang yang berotasi relatif cepat ($v \sin i \approx 10 \text{ km s}^{-1}$); dan *iv*) bintang-bintang yang sangat miskin logam, yaitu HD 84937, HD 122563, dan HD 140283.



Gbr. 9. Parameter yang direkomendasikan iDR2 untuk bintang-bintang pada gugus kalibrasi pada bidang $T_{\text{eff}} - \log g$. Tidak ada upaya yang dilakukan untuk mengidentifikasi bintang-bintang yang bukan anggota, yaitu, plot-plot tersebut mencakup semua bintang yang teramati di bidang gugus. Usia dan metalitas diambil dari katalog Harris (1996, dan pembaruan online) untuk gugus bola dan dari database WEBDA untuk gugus terbuka. Isokron dihitung dengan web-tool dari grup PARSEC (Bressan dkk. 2012, semuanya dengan komposisi berskala matahari), garis solid, dan dengan BeSPP (Bellaterra Stellar Parameter Pipeline, Serenelli dkk. 2013, α -disempurnakan di bawah $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.80$) yang menggunakan kode evolusi bintang GARSTEC (Weiss & Schlattl 2008), garis putus-putus. Bilah galat merepresentasikan dispersi antar metode dari setiap parameter atmosfer (lihat Bagian 7.3).

Perbandingan ini sudah mengindikasikan wilayah ruang parameter di mana hasil yang diperoleh di sini memiliki ketidakpastian yang lebih tinggi, yaitu bintang-bintang yang sangat dingin ($T_{\text{eff}} < 4000$ K), bintang-bintang yang miskin logam ($[\text{Fe}/\text{H}] \leq -2.0$), dan bintang-bintang yang berotasi cepat.

7.2. Kelompok kalibrasi

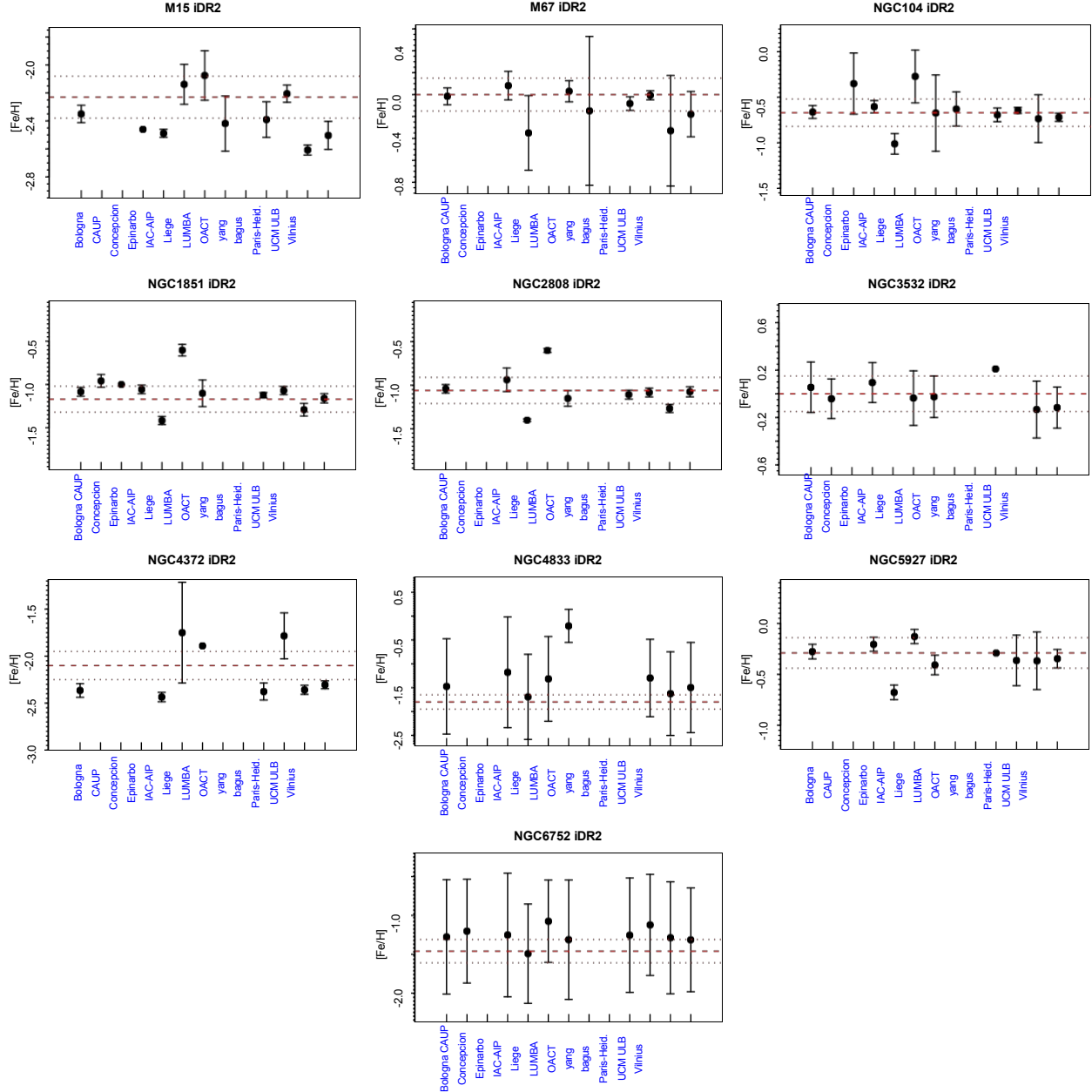
Daftar gugus terbuka dan gugus bola sedang diamati oleh Gaia-ESO untuk tujuan kalibrasi (lihat Pancino dkk., dalam persiapan). Di antara kegunaan lainnya, gugus-gugus tersebut dapat berfungsi sebagai kalibrasi tingkat kedua untuk menilai konsistensi fisik dari hasil-hasilnya. Gugus kalibrasi yang digunakan untuk iDR2 meliputi gugus bola M 15, NGC 104, NGC 1851, NGC 2808, NGC 4372, NGC 4833, NGC 5927, dan NGC 6752 serta gugus terbuka M 67 (dengan data arsip), NGC 3532, dan NGC 6705 (keduanya dengan data *Gaia-ESO*). Lebih banyak lagi gugus kalibrasi yang sudah dan akan diamati seiring berjalannya survei. Gugus-gugus tersebut akan ditambahkan ke dalam upaya kalibrasi untuk rilis yang akan datang.

Bintang-bintang yang diamati adalah bintang-bintang raksasa merah di gugus bola, bintang-bintang deret utama yang sejuk di NGC 3532, dan bintang-bintang tipe AB di gugus

gugus terbuka NGC 6705 ¹². Bintang-bintang tipe AB dipilih untuk digunakan sebagai sampel kontrol untuk perbandingan antara analisis bintang-bintang tipe FGK dan analisis bintang-bintang tipe OBA (lihat detailnya di Blomme et al., dalam persiapan). Sayangnya, sebagian besar bintang-bintang ini ternyata merupakan bintang yang berotasi cepat dan hasilnya dianggap tidak pasti sehingga tidak diikutsertakan dalam kontrol kualitas.

Konsistensi fisik dari parameter atmosfer gugus bintang dapat dinilai dengan membandingkan nilai turunan dengan nilai yang diharapkan untuk sebuah isokron yang dihitung dengan komposisi kimia dan usia gugus tersebut. Jika hasilnya mengikuti hubungan non-fisik dalam diagram, maka hasil tersebut akan dikecualikan dan hasil Node akan diabaikan di bagian ruang parameter tersebut. Meskipun ada beberapa bintang yang diidentifikasi yang parameternya tidak persis mengikuti isokronya, namun dalam banyak kasus, kesepakatan tersebut dianggap dapat diterima dalam ketidakpastian. Untuk mengilusi bahwa tidak ada parameter sangat salah yang ditemukan, Gbr. 9 menyajikan parameter atmosfer yang direkomendasikan akhir dari bintang-bintang yang diamati di gugus kalibrasi dengan isokron yang dihitung dengan nilai literatur untuk usia dan metalitas. Dalam plot ini, kami tidak menghapus bintang-bintang yang mungkin bukan anggota gugus.

¹² NGC 6705 juga diamati untuk tujuan sains, dalam hal ini yang diamati adalah bintang-bintang tipe FGK.



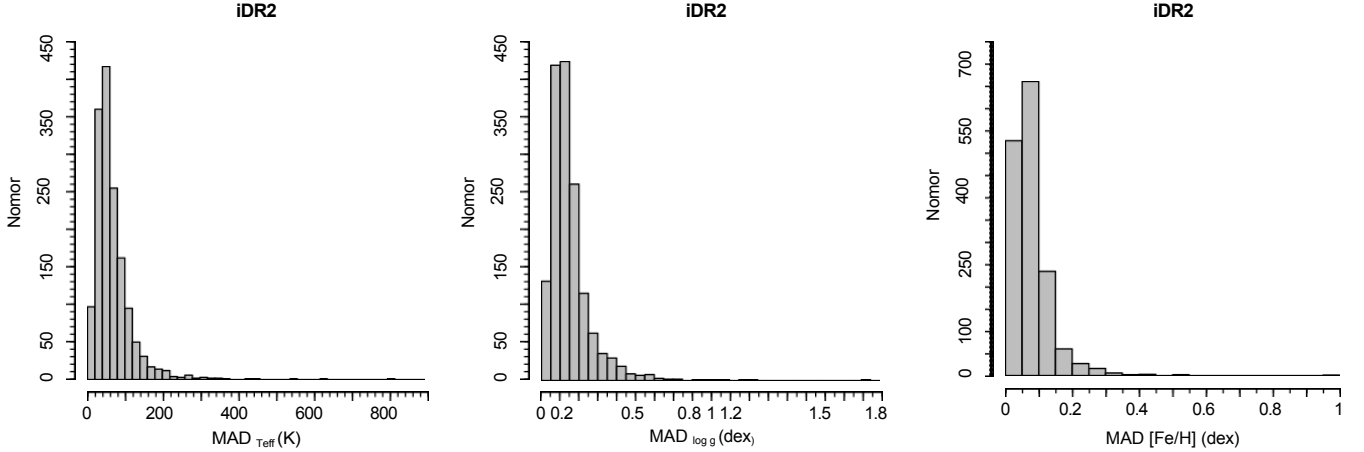
Gbr. 10. Metalikitas rata-rata yang diperoleh oleh Node dibandingkan dengan estimasi literatur dari setiap gugus kalibrasi. Bilah galat menunjukkan galat standar dari nilai metalitas rata-rata semua bintang dalam medan gugus yang dianalisis oleh Node yang bersangkutan. Bilah galat yang besar disebabkan oleh keberadaan bintang-bintang bukan anggota dengan metalitas yang sangat berbeda. Simpul yang berbeda mungkin saja menganalisis jumlah bintang yang berbeda di setiap gugus. Garis putus-putus merah adalah metalikitas literatur gugus, diambil dari katalog [Harris \(1996, dan pembaruan online\)](#) untuk gugus bola dan dari database WEBDA untuk gugus terbuka. Garis putus-putus menunjukkan variasi $\pm 0,15$ dex dalam metalitas.

Itu adalah bagian dari analisis ilmiah yang akan disajikan di tempat lain. Hasilnya mereproduksi dengan baik kemiringan yang diprediksi dari cabang-cabang raksasa merah di gugus tersebut. Gugus terbuka M 67 sangat menarik, karena data dari deret utama, bintang mati, dan bintang semut tersedia. Semua daerah evolusi ini direproduksi dengan sangat baik oleh hasil penelitian. Perbedaan antara dua set isokron pada cabang raksasa merah dijelaskan oleh fakta bahwa isokron PARSEC memiliki komposisi berskala matahari, sedangkan isokron GARSTEC memiliki peningkatan α di bawah $[\text{Fe}/\text{H}] = -0,80$, agar konsisten dengan peningkatan α yang diamati pada gugus-gugus yang miskin logam.

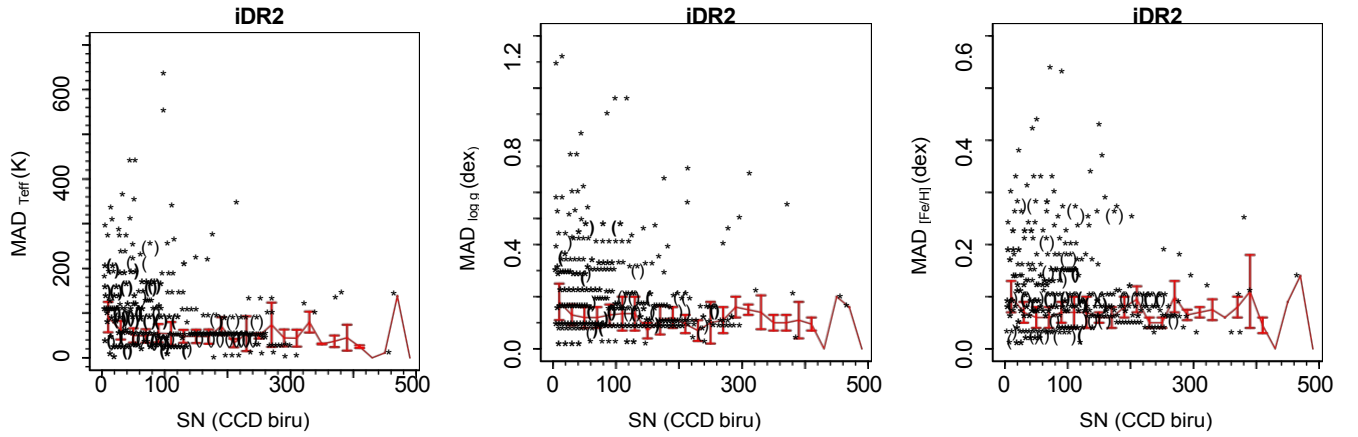
Uji konsistensi lainnya adalah penentuan metalitas bintang-bintang dalam gugus tertentu. Dengan mengasumsikan bahwa semua bintang yang diamati adalah anggota gugus dan tidak ada dispersi metalitas, maka

diharapkan bahwa sebuah Node akan mendapatkan logam yang sama untuk semua bintang. Tentu saja, kondisi ini terkadang tidak terpenuhi¹³. Pada Gambar 10, metalitas rata-rata yang diperoleh oleh setiap Node untuk setiap gugus kalibrasi ditampilkan sebagai perbandingan dengan nilai literatur. Bilah kesalahan dalam plot adalah deviasi standar dari rata-rata. Nonanggota tidak dihilangkan, dan Node yang berbeda dapat menganalisis jumlah bintang yang berbeda di setiap gugus. Oleh karena itu, pemahaman setiap hasil Node individu dalam plot ini sangat kompleks, tetapi perilaku umumnya sangat informatif. Dalam banyak kasus, dispersi dalam

¹³ Sebagai contoh, NGC 1851 tampaknya menunjukkan adanya dispersi kecil pada metalitas dan variasi bintang-ke-bintang dari elemen proses-s ([Yong & Grundahl 2008; Carretta dkk. 2011](#)).



Gbr. 11. Histogram yang menunjukkan distribusi dispersi antar metode dari parameter atmosfer dari 1517 hasil yang diperoleh di iDR2 (beberapa bintang memiliki beberapa hasil, karena terkadang spektrum paparan tunggal dianalisis). Dispersi hanya dihitung jika setidaknya ada tiga Node yang memberikan hasil untuk bintang tersebut. *Kiri:* dispersi T_{eff} . *Tengah:* dispersi $\log g$. *Kanan:* dispersi $[\text{Fe}/\text{H}]$.



Gbr. 12. Ketergantungan dispersi antar metode pada median S/N per piksel spektrum. S/N dari bagian spektrum yang lebih biru digunakan sebagai referensi. Garis merah menghubungkan nilai median di setiap bin S/N (dalam langkah 20). Bilah kesalahan pada garis tersebut mewakili deviasi absolut median.

nilai metalitas dari suatu Node kecil dan rata-rata dari beberapa Node berada di dalam batang dispersi. Kasus-kasus seperti NGC 4833 dan NGC 6752, di mana dispersi di dalam sebuah Node sangat besar, kemungkinan disebabkan oleh bintang-bintang yang bukan anggota dengan metalitas yang sangat berbeda dengan metalitas di dalam gugus.

7.3. Dispersi dari metode ke metode

Untuk membandingkan hasil dari Node yang berbeda dan mengukur dispersi metode-ke-metode dari setiap parameter, kami memutuskan untuk menggunakan median dan MAD (median absolute deviasi) yang terkait. MAD didefinisikan sebagai median dari deviasi absolut dari median data dan diberikan oleh:

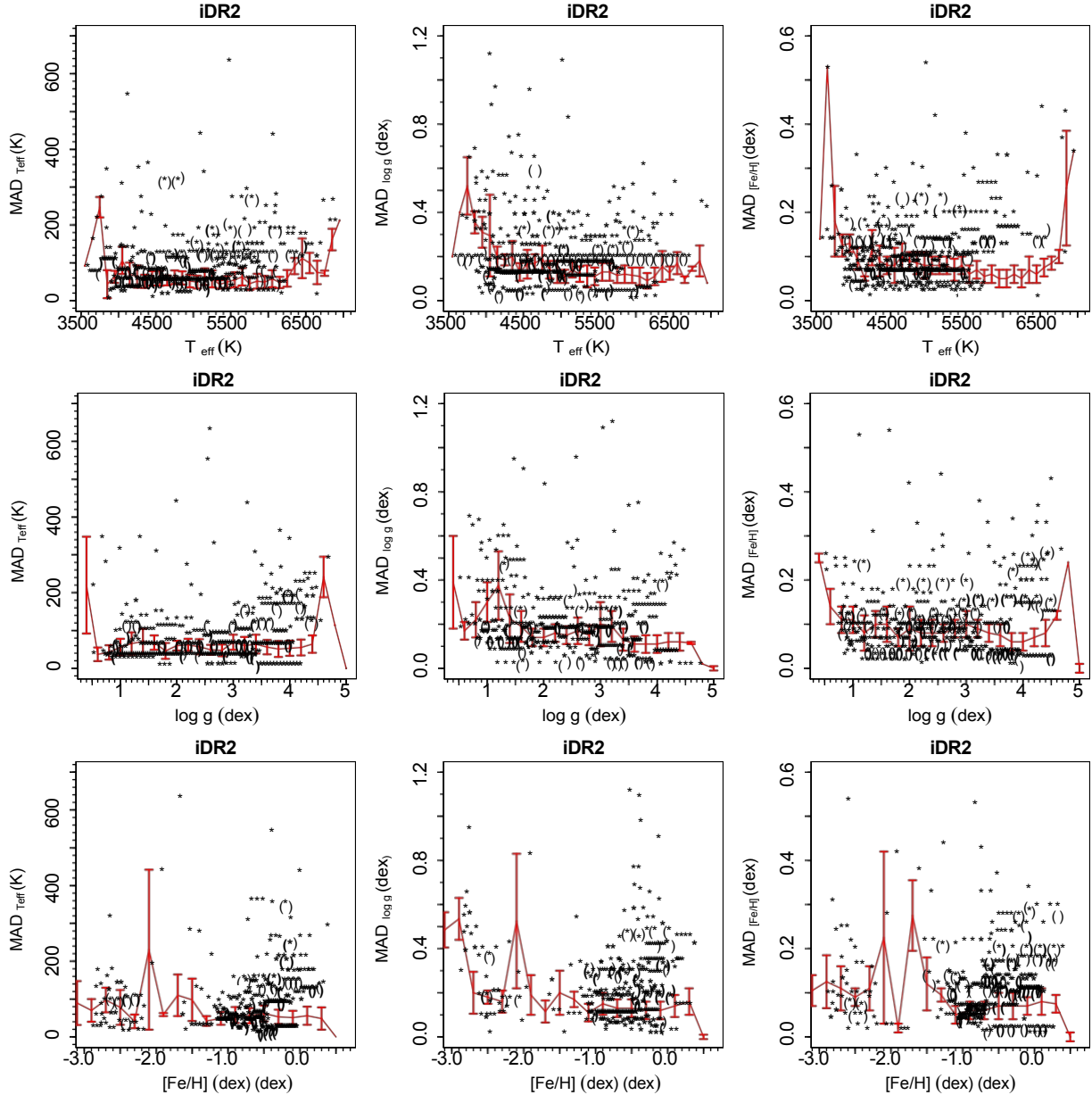
$$\text{MAD} = \text{median} (|X_{(i)} - \text{median}(X)|) \quad (1)$$

Untuk hasil iDR2, histogram dari dispersi antar metode ditunjukkan pada Gbr. 11. Nilai median dari dispersi antar metode adalah 55 K, 0,13 dex, dan 0,07 dex untuk T_{eff} , $\log g$, dan $[\text{Fe}/\text{H}]$. Kuartil ketiga dari distribusi tersebut memiliki nilai 82 K, 0,19 dex, dan 0,10 dex untuk T_{eff} , $\log g$, dan $[\text{Fe}/\text{H}]$. Nilai-nilai ini menunjukkan kesepakatan yang sangat baik secara keseluruhan antara berbagai metode untuk 75% dari hasil yang tersedia di iDR2.

Kesepakatan ini diperoleh pada nilai absolut dari parameter dan bukan pada nilai relatif, karena kami tidak menerapkan analisis differensial. Seharusnya tidak mengherankan bahwa semua metode yang berbeda tidak memberikan hasil yang persis sama mengingat semua faktor yang berbeda yang terlibat dalam analisis. Contohnya adalah cara yang berbeda untuk membatasi parameter atmosfer dan fisika yang tercakup dalam setiap kode analisis yang berbeda.

Di sini kita ingat bahwa dispersi antar metode adalah ukuran ketepatan hasil, yaitu mana beberapa metodologi dapat menyepakati parameter atmosfer sebuah bintang. Ini bukanlah ketidakpastian fisik dari nilai-nilai tersebut.

Gambar 12 menunjukkan bagaimana dispersi antar metode dari setiap parameter atmosfer (T_{eff} , $\log g$, dan $[\text{Fe}/\text{H}]$) bergantung pada S/N spektrum. Plot menunjukkan bahwa ada kecenderungan umum terhadap ketidaksepakatan yang lebih besar yang ditemukan untuk nilai S/N yang lebih kecil. Meskipun pencilon ditemukan pada nilai S/N berapa pun, dispersi cenderung meningkat hanya untuk nilai SN terendah (< 40). Sebaliknya, untuk $S/N > 40$ cenderung stabil di sekitar nilai konstan (~ 50 K, 0,13 dex, dan 0,07 dex untuk T_{eff} , $\log g$, dan $[\text{Fe}/\text{H}]$). Yang lebih mengejutkan lagi, plot-plot tersebut juga menunjukkan bahwa kesesuaian yang baik antara metode yang berbeda dapat



Gbr. 13. Ketergantungan dispersi antar metode terhadap parameter atmosfer bintang. Garis merah menghubungkan nilai median pada setiap bin 100 K (*baris atas*), 0,20 dex (*baris tengah*), dan 0,20 dex (*baris bawah*). Bilah-bilah kesalahan pada garis tersebut menunjukkan deviasi absolut median.

ditemukan bahkan jika S/N rendah, karena sudut-sudut $\log S/N$ dan dispersi kecil dalam panel terisi dengan baik.

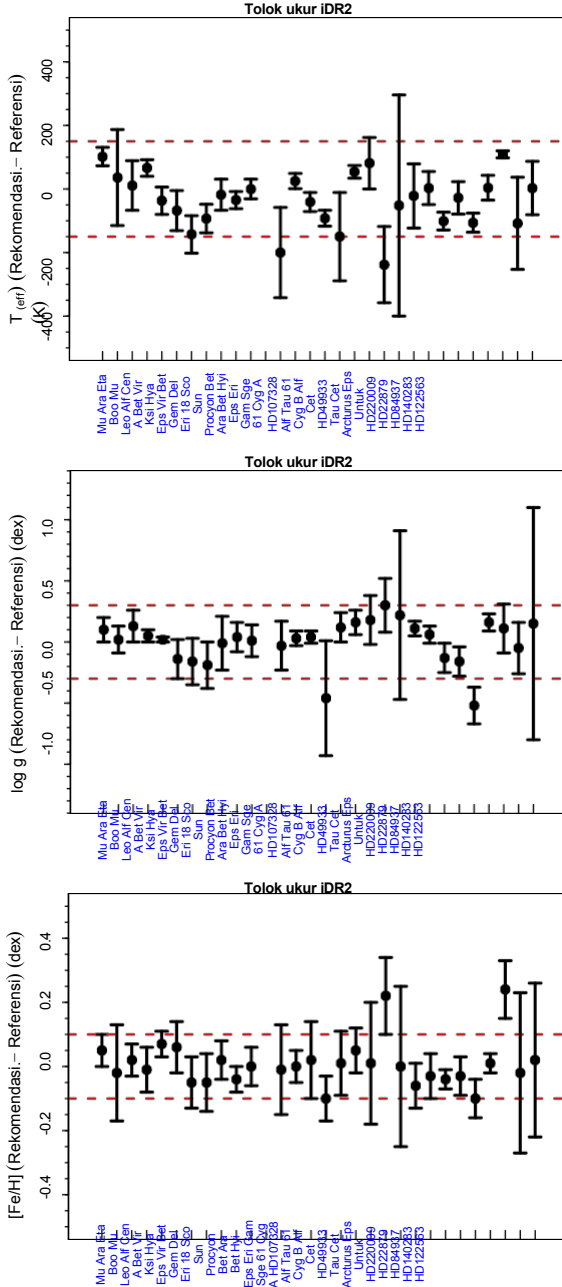
Gambar 13 menunjukkan bagaimana dispersi dari metode ke metode dari setiap parameter atmosfer bergantung pada atmosfer itu sendiri. Sebagian besar panel tidak menunjukkan tren yang signifikan. Tampaknya ada peningkatan dispersi nilai $\log g$ untuk bintang-bintang dingin (< 4000 K) dan bintang-bintang yang miskin logam ($[Fe/H] < -2,00$ atau $-2,50$), meskipun sebagian mungkin disebabkan oleh angka statistik yang rendah. Hal ini menunjukkan bahwa hasil yang tepat dapat ditemukan pada hampir seluruh rentang parameter bintang yang dianalisis di sini. Hal ini juga mengindikasikan bahwa untuk memilih hasil yang baik, pemotongan parameter atmosfer tidak diperlukan, dan pemotongan nilai dispersi sudah cukup. Secara keseluruhan, perbandingan ini menunjukkan bahwa sebagian besar hasil memiliki kualitas yang sangat baik.

7.4. Nilai-nilai yang direkomendasikan

Pada bagian ini, kami menjelaskan prosedur yang digunakan untuk menentukan nilai yang telah diperbaiki dari parameter atmosfer setiap bintang. Langkah pertama adalah kontrol kualitas orde nol terhadap hasil dari setiap Node. Hasil yang dikeluarkan adalah hasil yang memiliki batang kesalahan yang sangat besar (di atas 900 K untuk T_{eff} dan/atau 1,50 dex untuk $\log g$);

- ii) dengan nilai mikroturbulensi sama dengan atau di bawah $0,00 \text{ km s}^{-1}$;
- iii) dengan nilai gravitasi permukaan di atas 500 dex; iv) di mana hasil Node final sama dengan nilai input metode, yang mengindikasikan bahwa analisis otomatis gagal untuk konvergen; dan
- v) ditandai sebagai memiliki masalah konvergensi lainnya.

Selanjutnya, kami menggunakan hasil dari bintang-bintang pembanding untuk memberi bobot pada performa setiap Node di tiga wilayah berbeda dalam ruang parameter yang telah ditentukan sebelumnya: 1) katai kaya logam; 2) bintang raksasa kaya logam; dan 3) bintang miskin logam. Untuk bintang-bintang pembanding



Gbr. 14. Perbedaan antara nilai T_{eff} , $\log g$, dan $[\text{Fe}/\text{H}]$ yang direkomendasikan untuk bintang-bintang patokan iDR2 dan nilai referensi. Bilah kesalahan adalah dispersi antar metode. Bintang-bintang diurutkan berdasarkan penurunan $[\text{Fe}/\text{H}]$ (dari kiri ke kanan). Garis merah putus-putus menunjukkan batas dari ± 150 K untuk T_{eff} , dari $\pm 0,30$ dex untuk $\log g$, dan dari $\pm 0,10$ dex untuk $[\text{Fe}/\text{H}]$.

Di masing-masing wilayah ini, kami menghitung untuk setiap Node perbedaan rata-rata antara parameter yang diturunkan (T_{eff} dan $\log g$) dan parameter referensi (Tabel 4).

Angka-angka ini merupakan pengukuran akurasi yang dapat digunakan setiap Node untuk mereproduksi penunjuk atmosfer referensi di setiap wilayah ruang parameter. Angka-angka ini kemudian digunakan untuk memberikan bobot pada hasil Node. Jika perbedaan rata-rata dari hasil Node berada dalam 100 K untuk T_{eff} dan dalam 0,20 dex untuk $\log g$, Node diberi bobot 1,00. Dengan demikian, kami mengasumsikan bahwa semua Node yang mereproduksi nilai

Tabel 5. Bobot node per wilayah ruang parameter.

Node	MRD	MRG	MPS
Bologna	1.000	0.546	-
CAUP	0.971	0.495	-
Concepcion	0.694	0.495	0.306
EPINARBO	1.000	0.781	0.585
IACAIP	0.862	0.901	0.935
Liege	0.676	0.386	-
LUMBA	1.000	0.602	0.758
Bagus.	0.870	0.794	1.000
OACT	0.741	0.585	-
ParisHeidelberg	1.000	0.746	0.637
UCM	0.893	0.214	-
ULB	-	-	-
Vilnius	1.000	0.457	0.308

dalam margin ini sama akuratnya dan hasilnya harus diperhitungkan sepenuhnya. Node yang kurang akurat dari itu diberi bobot yang lebih buruk, dalam skala linier, dengan membagi selisih rata-rata parameternya dengan 100 K atau 0,20 dex, masing-masing untuk T_{eff} dan $\log g$, dan kemudian merata-ratakan nilai-nilai ini.

Bobot dihitung per Node dan per wilayah ruang parameter (Tabel 5). Hasil dari setiap bintang kemudian digabungkan dalam median tertimbang, dengan mempertimbangkan bobot Node dari wilayah ruang parameter di mana mereka berada. Untuk itu, beberapa estimasi parameter diperingkat dan interpolasi digunakan untuk menemukan persentil tertimbang 50%. Median tertimbang adalah:

$$\text{wei_median} = \text{Param}_k + \frac{50 - P_k}{P_{k+1} - P_k} (\text{Param}_{k+1} - \text{Param}_k), \quad (2)$$

di mana $P_{(k)}$ adalah peringkat persentil dari parameter k :

$$P_k = \frac{100}{\text{Jumlah}_n} \left(\text{Jumlah}_k - \frac{\text{normal}_k}{2} \right), \quad (3)$$

di mana bobotnya dinormalisasi berdasarkan bintang per bintang:

$$\text{Normal}_i = \frac{\text{berat}_i}{\sum_{i=1}^n \text{bobot}_i}, \quad (4)$$

maka jumlah total bobotnya adalah:

$$\text{Jumlah}_n = \sum_{k=1}^n \text{bobot}_k = 1.0, \quad (5)$$

dan jumlah parsial dari bobotnya adalah:

$$\text{Jumlah}_f = \sum_{k=1}^n \text{bobot}_k. \quad (6)$$

Dengan demikian, untuk iDR2, langkah-langkah untuk mendapatkan parameter yang direkomendasikan dapat diringkas sebagai berikut:

1. Kontrol kualitas urutan ke nol dilakukan, menghilangkan hasil yang sangat tidak pasti.
2. Keakuratan hasil Node dinilai dengan menggunakan bintang-bintang patokan yang tersedia sebagai referensi. Bobot diberikan, sesuai dengan seberapa baik Node dapat mereproduksi nilai referensi di wilayah tertentu dari ruang parameter.
3. Uji konsistensi lebih lanjut dilakukan dengan menggunakan kelompok kalibrasi.

Tabel 6. Hasil analisis data iDR2.

Tipe Gaia-ESO	Jumlah bintang	Komentar
Bintang yang dianalisis	1447	Gaia-ESO dan data arsip
Bintang dengan hasil	1301	Gaia-ESO dan data arsip
Bintang dengan hasil	1268	Hanya data Gaia-ESO
GES_MW	906	Bidang Bima Sakti
GES_CL	233	Bidang cluster terbuka
GES_SD	129	Target kalibrasi
AR	33	Data arsip

Catatan. Jumlah bintang tipe FGK yang diamati dengan UVES dengan parameter atmosfer yang telah ditentukan.

Tabel 7. Kesalahan sistematis dari parameter atmosfer untuk set data iDR2.

Jenis bintang	σ_{eff}	$\sigma \log g$	$\sigma_{[\text{Fe}/\text{H}]}$
Kurcaci kaya logam	50 K	0,10 dex	0,05 dex
Raksasa yang kaya akan logam	100 K	0,25 dex	0,05 dex
Bintang-bintang yang miskin logam	50 K	0,15 dex	
	0,10		

4. Nilai rata-rata tertimbang dari hasil alidasi v diadopsi sebagai nilai yang direkomendasikan untuk parameter tersebut.
5. MAD diadopsi sebagai indikator dispersi metode-ke-metode (presisi analisis).
6. Jumlah hasil yang menjadi dasar nilai yang direkomendasikan juga dilaporkan.

Tabel 6 merangkum jumlah bintang yang parameter atmosfernya telah ditentukan selama iDR2. Analisis sekitar 10% bintang tidak dapat dilakukan karena berbagai alasan (misalnya, rotasi tinggi, tanda bintang bergaris ganda, S/N terlalu rendah, garis emisi).

Perbandingan nilai yang direkomendasikan untuk parameter atmosfer bintang-bintang patokan (yang dihitung seperti yang dituliskan di atas) dengan nilai referensi ditunjukkan pada Gbr. 14. Parameter atmosfer yang direkomendasikan dari bintang-bintang patokan sangat cocok dengan nilai referensi untuk sebagian besar bintang, yaitu dalam rentang ± 150 K untuk T_{eff} , $\pm 0,30$ dex untuk $\log g$, dan $\pm 0,10$ dex untuk $[\text{Fe}/\text{H}]$. Hasilnya menjadi lebih tidak pasti dibanding bintang-bintang yang lebih dingin ($T_{\text{eff}} < 4200$ K), seperti yang terlihat pada HD 220009, Bet Ara, 61 Cyg B, Alf Cet, dan Gam Sge.

Perbandingan dengan bintang-bintang pembandingan bersama dengan hasil untuk gugus-gugus (lihat Gbr. 9) mengilustrasikan kualitas yang baik secara umum dari hasil rekomendasi Gaia-ESO. Hasil akhir yang telah diperbaiki ini adalah hasil yang kami sarankan untuk digunakan dalam publikasi ilmiah. Pada Gambar 1, kami menunjukkan bidang $T_{\text{eff}} - \log g$ akhir bintang-bintang yang termasuk dalam hasil iDR2.

7.5. Kesalahan sistematis

Kami memperkirakan kesalahan sistematik dari parameter atmosfer di iDR2 dengan menggunakan bintang-bintang acuan *Gaia*. Kesalahan ini pengukuran perbedaan sistematis antara nilai referensi dan nilai yang direkomendasikan dari parameter atmosfer. Dengan kata lain, kesalahan ini bias dan mengukur akurasi rata-rata parameter atmosfer Gaia-ESO. Nilai-nilai ini diberikan sebagai tambahan untuk dispersi antar metode, karena mereka mengukur jenis ketidakpastian yang berbeda dari hasil.

Kesalahan sistematis dihitung dalam tiga wilayah ruang parameter yang telah ditentukan sebelumnya (yaitu katai kaya logam, raksasa kaya logam, dan bintang miskin logam). Kesalahan-kesalahan tersebut merupakan rata-rata dari nilai absolut dari perbedaan antara referensi

dan parameter yang direkomendasikan untuk bintang-bintang patokan di masing-masing wilayah ini. Untuk menghindari pelaporan nilai yang terlalu kecil, kami menggunakan nilai batas bawah 50 K, 0,10 dex, dan 0,05 dex untuk T_{eff} , $\log g$, dan $[\text{Fe}/\text{H}]$. Kami melakukan hal tersebut karena: 1) kami melaporkan nilai rata-rata; 2) bintang-bintang patokan memiliki S/N yang jauh lebih tinggi daripada target Gaia-ESO pada umumnya, dan nilai-nilai ini bisa jadi bergantung pada S/N; dan 3) parameter referensi itu sendiri memiliki kesalahan yang tidak diperhitungkan dalam penghitungan ini. Nilai akhir tercantum dalam Tabel 7.

7.6. Efek dari jumlah Node

Jumlah Node yang berkontribusi pada parameter akhir yang direkomendasikan bervariasi dari satu bintang ke bintang lainnya. Ada beberapa alasan yang berbeda untuk itu, termasuk kesulitan bagi metode tertentu untuk menangani jenis bintang tertentu. Hal ini menimbulkan pertanyaan tentang seberapa homogen hasil yang diperoleh secara keseluruhan.

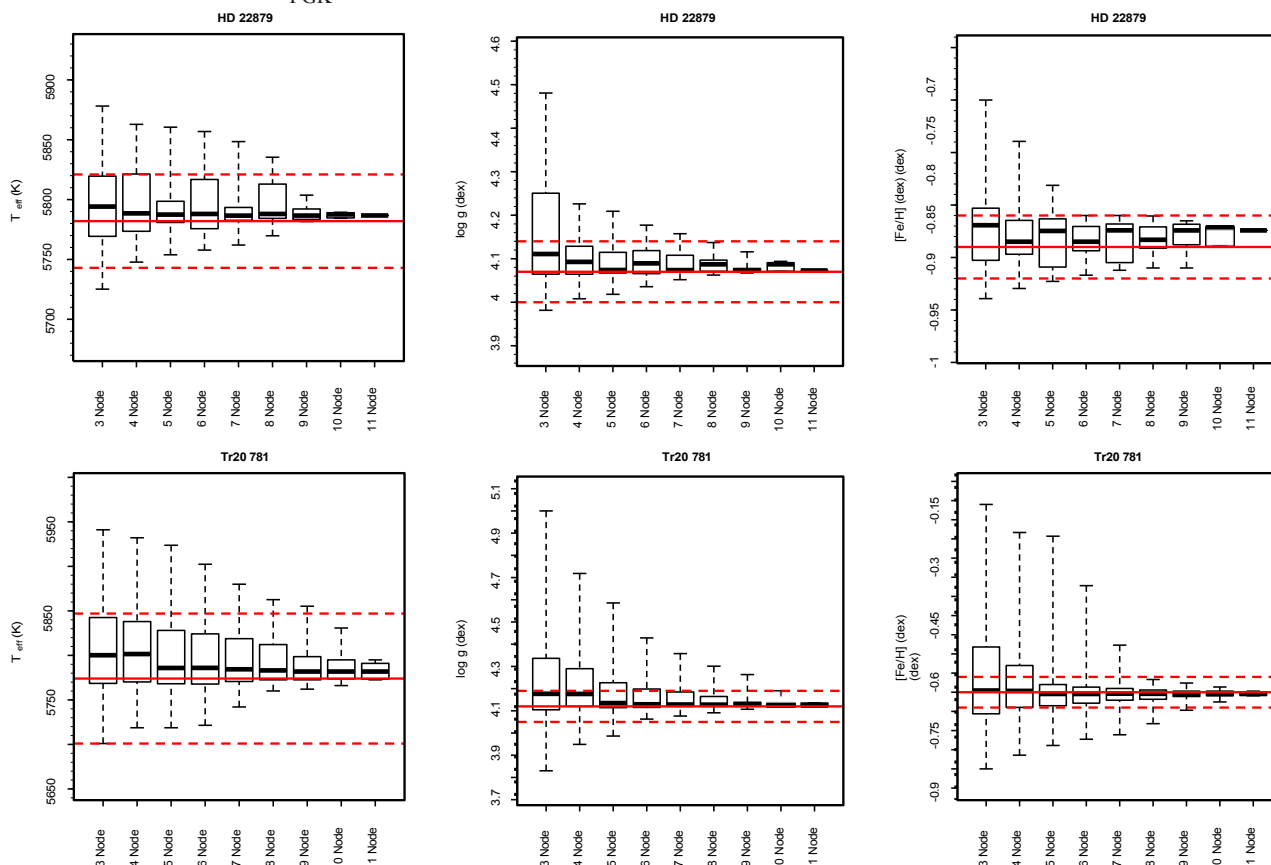
Untuk menjawab pertanyaan tersebut, kami melakukan pengujian berikut untuk bintang yang memiliki hasil dari sepuluh atau lebih Node. Pertama, kami memilih sejumlah hasil untuk bintang tersebut. Kedua, kami menyusun parameter akhir yang direkomendasikan berdasarkan hasil yang dipilih saja, dengan menggunakan pendekatan rata-rata tertimbang yang sama. Kami mengulangi pemilihan acak sebanyak 1000 kali, untuk membuat distribusi hasil akhir (dan untuk memahami hasil mana yang lebih mungkin dan berapa kisaran nilai yang mungkin). Latihan ini diulangi, dengan memvariasikan jumlah node yang berkontribusi pada hasil akhir dari tiga hingga sebelas (12 adalah jumlah maksimum node).

Hasilnya diplot pada Gbr. 15 untuk dua bintang, HD 22879 dan Tr20 781 (juga dibahas pada Bagian 6). Untuk setiap kasus dengan jumlah Node yang berbeda, sebuah boxplot dengan distribusi median tertimbang akhir ditampilkan. Garis merah menunjukkan parameter yang direkomendasikan (menggunakan semua hasil yang tersedia) dan dispersi antar metode.

Perbandingannya menunjukkan hal itu:

1. Terlepas dari jumlah Node yang digunakan, sebagian besar waktu, median tertimbang dari pemilihan acak akan sesuai dengan nilai akhir yang direkomendasikan dalam ketidakpastian.
2. Namun demikian, semakin sedikit jumlah Node yang digunakan, semakin luas distribusinya, yang berarti bahwa kemungkinan parameter akhir yang direkomendasikan palsu meningkat.
3. Ketika jumlah Node meningkat, distribusi cenderung semakin sempit.

Perbandingan ini menunjukkan bahwa, jika outlier tidak ada, sebagian besar hasil yang direkomendasikan berdasarkan beberapa Node akan sesuai dengan hasil yang didasarkan pada banyak Node. Fluktuasi pada nilai akhir sebagian besar berada dalam ketidakpastian. Ini adalah hasil sangat penting yang memberikan kepercayaan pada nilai akhir yang direkomendasikan. Hal ini berasal dari upaya untuk mengaitkan skala parameter akhir dengan



Gbr. 15. Histogram dari nilai median dari hasil Node yang dipilih secara acak. Histogram ini menampilkan efek pada parameter yang direkomendasikan yang disebabkan oleh perubahan jumlah Node yang berkontribusi pada nilai akhir (lihat teks untuk penjelasan lengkap). Garis solid merah menunjukkan parameter akhir yang direkomendasikan, garis putus-putus merah menunjukkan dispersi 1σ metode-ke-metode akhir. Panel atas menunjukkan kasus HD 22879, panel bawah menunjukkan kasus Tr20 781. Pada setiap boxplot, garis solid yang lebih tebal menunjukkan median dari distribusi, kotak memanjang dari kuartil pertama hingga ketiga, dan garis putus-putus memanjang hingga nilai ekstrim.

Bintang-bintang pembanding *Gaia*. Hasilnya secara keseluruhan adalah homogen, dalam presisi yang dikutip.

Namun demikian, beberapa hasil Node outlier mungkin ada. Dengan adanya pencilan, kemungkinan nilai yang direkomendasikan kehilangan akurasi akan meningkat seiring dengan semakin sedikitnya Node yang digunakan. Untuk sejumlah besar hasil, median adalah pengukuran yang sangat kuat yang tidak terpengaruh oleh adanya pencilan.

Kekuatan dari penggunaan beberapa analisis disorot di sini, karena mereka membantu mengungkap outlier dan meminimalkan efeknya pada nilai akhir yang direkomendasikan. Jumlah Node yang lebih banyak juga diperlukan untuk membatasi kepercayaan diri pada ketepatan hasil akhir.

Untuk memilih hasil dengan kualitas terbaik, pemotongan dengan presisi seharusnya sudah cukup untuk sebagian besar aplikasi. Ketika akurasi lebih lanjut diperlukan, kami merekomendasikan pemotongan berdasarkan jumlah Node yang memberikan hasil. Pemotongan ini akan menghilangkan sebagian besar hasil yang memiliki peluang lebih tinggi untuk jauh dari nilai parameter yang benar. Plot dan pengujian tampaknya menunjukkan bahwa dengan menggunakan lima Node kita dapat memastikan bahwa sebagian besar hasil ($> 50\%$) akan mendekati nilai sebenarnya.

8. Kelimpahan

Untuk iDR2, delapan Node yang berbeda¹⁴ menghitung kelimpahan hanya berdasarkan parameter atmosfer mereka sendiri. Ini adalah kasusnya

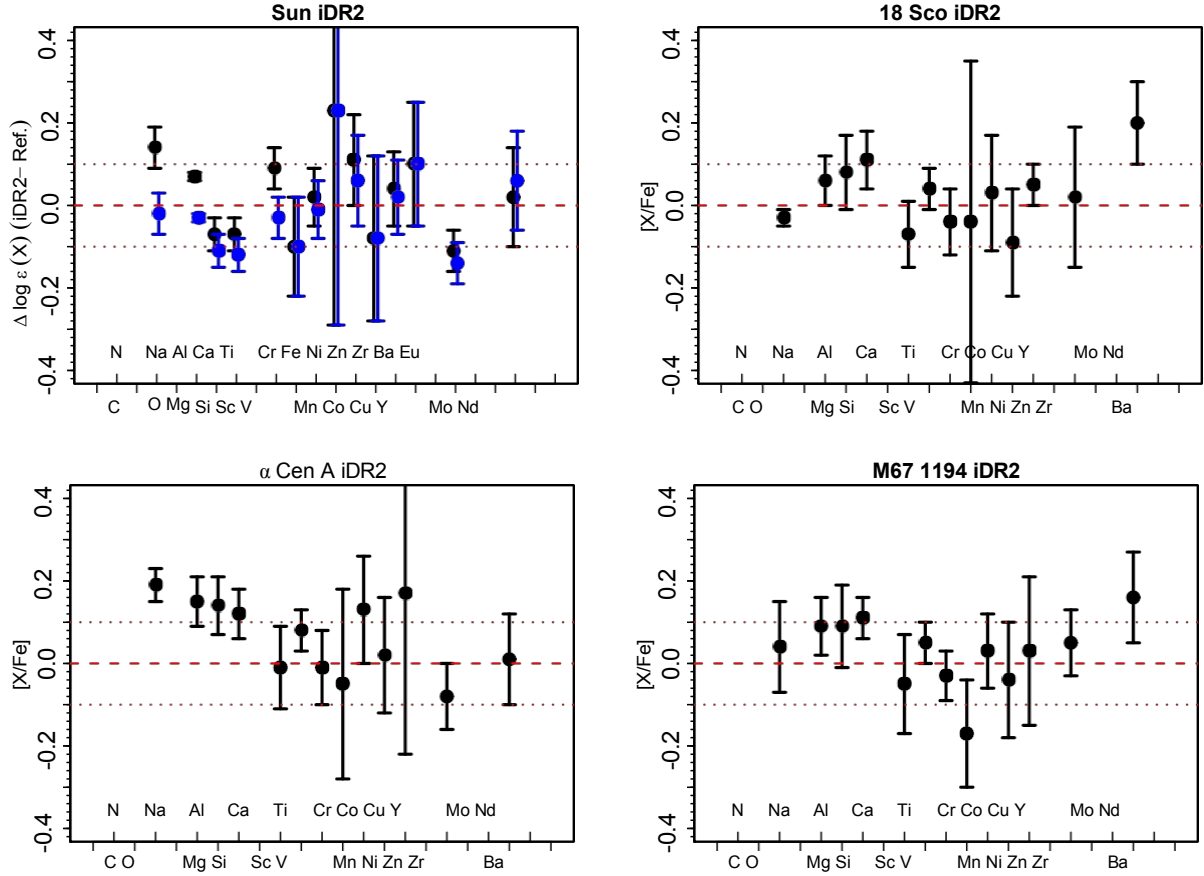
¹⁴ Simpul-simpul tersebut adalah: Bologna, CAUP, Concepcion, EPInArBo, LUMBA, Paris-Heidelberg, UCM, dan Vilnius.

karena, seperti yang ditunjukkan selama analisis iDR1, tidak ada perbedaan yang signifikan antara ini dan kelimpahan yang dihitung berdasarkan parameter atmosfer yang direkomendasikan (seperti yang dibahas dalam Lampiran B).

Untuk parameter atmosfer, kelimpahan akhir yang direkomendasikan adalah median tertimbang dari nilai yang diperoleh oleh Simpul. Kami menggabungkan kelimpahan berdasarkan baris per baris, dengan menggunakan bobot Node yang sama dengan yang ditentukan untuk parameter atmosfer. Kami menerapkan kondisi berikut untuk memilih hasil terbaik sebelum menggabungkan kelimpahan, untuk menjamin bahwa formasi tersedia untuk memperkirakan ketepatan hasil secara kuat:

1. Hanya spesies unsur yang dianalisis oleh setidaknya tiga Node yang dipertimbangkan.
2. Kelimpahan Node dari suatu spesies, pada bintang tertentu, digabungkan hanya jika bintang tersebut dianalisis oleh setidaknya tiga Node.
3. Setiap garis spektral hanya dipertimbangkan jika setidaknya tiga Node memberikan kelimpahan berdasarkan garis tersebut.
4. Ketika informasi tentang EW tersedia, hanya garis dengan $5 \leq EW$ (mÅ) ≤ 120 yang digunakan. Pengecualian adalah natrium ($5 \leq EW$ (mÅ) ≤ 140) dan barium ($5 \leq EW$ (mÅ) ≤ 250)¹⁵.

¹⁵ Seperti yang ditunjukkan oleh wasit, memilih garis untuk memperoleh abundansi dan parameter atmosfer berdasarkan pengukuran itu sendiri dapat membiaskan hasil. Pada batas EW yang lebih rendah, garis-garis yang



Gbr. 16. Pola kelimpahan Matahari dan analog matahari yang dipilih. *Kiri atas:* hasil untuk spektrum matahari FLAMES yang mana $T_{\text{eff}} = 5826$ K, $\log g = 4.50$, $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.03$, dan $(= 1.05 \text{ km s}^{-1})$ diturunkan. Dalam warna hitam, hasil iDR2 dibandingkan dengan kelimpahan matahari dari Grevesse dkk. (2007) dan, dalam warna biru, dengan *Kanan atas:* pola kelimpahan kembaran matahari 18 Sco yang diperoleh di sini Grevesse & Sauval (1998). dibandingkan dengan kelimpahan matahari referensi yang dihitung dalam penelitian ini. Untuk bintang ini, parameter atmosfer berikut ini diturunkan: $T_{\text{eff}} = 5782$ K, $\log g = 4.39$, $[\text{Fe}/\text{H}] = 0.05$, dan $(= 1.04 \text{ km s}^{-1})$. *Kiri bawah:* pola kelimpahan analog matahari α Cen A. Kelimpahan matahari referensi adalah yang diturunkan di sini. Untuk bintang ini, parameter atmosfer berikut ini diturunkan: $T_{\text{eff}} = 5781$ K, $\log g = 4.26$, $[\text{Fe}/\text{H}] = 0.25$, dan $(= 1.21 \text{ km s}^{-1})$. *Kanan bawah:* pola kelimpahan kembaran matahari di gugus terbuka M 67, bintang YBP 1194, seperti yang diturunkan di sini. Kelimpahan matahari referensi adalah kelimpahan matahari yang diperoleh di sini. Untuk bintang ini, parameter atmosfer berikut ini diturunkan: $T_{\text{eff}} = 5759$ K, $\log g = 4.41$, $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.01$, dan $(= 1.06 \text{ km s}^{-1})$. Pada semua plot, batang kesalahan adalah dispersi antar metode. Garis putus-putus mewakili $\Delta \log s(X) = 0.00$ dex atau $[X/\text{Fe}] = 0.00$ dex, garis putus-putus mewakili $\Delta \log s(X) = \pm 0.10$ dex atau $[X/\text{Fe}] = \pm 0.10$ dex. Kelimpahan dari penelitian ini berasal dari spesies netral, kecuali untuk Sc, Y, Zr, Ba, Nd, dan Eu, yang kelimpahannya berasal dari spesies terionisasi, dan dari C dan N yang kelimpahannya berasal dari molekul.

5. Jika, untuk spesies tertentu pada bintang tertentu, kelimpahan dari 20 atau lebih garis spektral yang berbeda tersedia, kami menghapus garis-garis yang ditandai sebagai campuran dalam daftar garis *Gaia-ESO*.
6. Jika, sebelum menerapkan median tertimbang, jumlah total garis spektral dengan kelimpahan (untuk spesies tertentu pada bintang tertentu) lebih dari 20, maka dilakukan pemotongan 2σ dari nilai rata-rata. (Jumlah total garis dihitung di Simpul, oleh karena itu jika delapan Simpul memberikan kelimpahan untuk masing-masing lima garis, maka akan dihitung sebagai 40 garis untuk pemotongan).
7. Kelimpahan rata-rata tertimbang dari setiap garis spektral dihitung.
8. Nilai median dari beberapa garis diadopsi sebagai kelimpahan yang direkomendasikan.

Pengecualiannya adalah C, N, dan O. Satu Node tunggal (Vilnius) menghitung kelimpahan ini dengan menggunakan parameter atmosfer yang direkomendasikan. Pilihan ini dibuat untuk memperhitungkan dengan tepat

kesimpulan yang terlalu tinggi, EW memiliki peluang lebih tinggi untuk masuk dibandingkan dengan mereka yang memiliki EW yang diremehkan (dan kebalikannya untuk tepi atas). Pilihan ini akan menyebabkan bias yang tidak signifikan pada data S/N tinggi, tetapi mungkin menjadi penting untuk data S/N rendah dan/atau ketika garis spektral sangat lemah.

kesetimbangan kimiawi dari molekul-molekul tersebut. Kelimpahan karbon dihitung dari molekul C_2 , nitrogen dari molekul CN, dan oksigen dari garis terlarang pada 6300 \AA (lihat Bagian 5.1 untuk deskripsi daftar garis).

Hasil iDR2 mencakup kelimpahan yang dihitung dengan cara ini untuk 24 elemen berikut: C, N, O, Na, Mg, Al, Si, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Zr, Mo, Ba, Nd, dan Eu, untuk sedikitnya beberapa bintang⁽¹⁶⁾. Dari 1268 bintang dengan parameter atmosfer yang diamati oleh Survei, kami memperoleh kelimpahan setidaknya 15 elemen berbeda untuk 1079 bintang dan setidaknya sepuluh elemen untuk 1203 bintang. Sampel bintang tipe FGK ini merupakan salah satu sampel terbesar dari jenisnya yang kelimpahan elemennya telah ditentukan. Kami menekankan bahwa daftar kelimpahan ini mencakup unsur-unsur yang terbentuk di berbagai jalur nukleosintesis, yakni proses-s, proses-r, puncak-F, cahaya, dan unsur α , yang memberikan kumpulan data yang belum pernah ada sebelumnya dan memiliki nilai ilmiah yang tinggi.

Sejumlah elemen tambahan yang melimpah disediakan oleh beberapa Node, tetapi akhirnya dikeluarkan ketika

¹⁶ Mo tersedia untuk 66 bintang, Nd untuk 111 bintang, Zr untuk 159 bintang, dan Eu untuk 228 bintang. Kelimpahan lainnya tersedia untuk lebih dari 920 bintang.

Tabel 8. Kelimpahan matahari yang diperoleh dalam iDR2 dibandingkan dengan kelimpahan matahari Grevesse dkk. (2007).

Elemen	Kelimpahan Pekerjaan ini	Kelimpahan Grevesse et al.	Elemen	Kelimpahan Pekerjaan ini	Kelimpahan Grevesse et al.
C	-	8.39	Mn	5,62± 0,52	5.39
N	-	7.78	Fe	7.56± 0.11	7.45
O	-	8.66	Co	4,84± 0,20	4.92
Na	6.31± 0.05	6.17	Ni	6.27± 0.09	6.23
Mg	-	7.53	Cu	4.31± 0.15	4.21
Al	6.44± 0.01	6.37	Zn	-	4.60
Si	7.44± 0.04	7.51	Y	2.10± 0.05	2.21
Ca	6.24± 0.04	6.31	Zr	-	2.58
Sc	3.29± 0.11	3.17	Mo	-	1.92
Ti	4.99± 0,05	4.90	Ba	2.19± 0.12	2.17
V	3.90± 0.12	4.00	Nd	-	1.45
Cr	5,66± 0,07	5.64	Eu	-	0.52

Catatan. Kelimpahan dari penelitian ini berasal dari spesies netral, kecuali Sc, Y, dan Ba, yang berasal dari spesies terionisasi.

kondisi yang tercantum di atas telah diterapkan. Kelimpahan ini bukan merupakan bagian dari hasil yang direkomendasikan iDR2 karena tanpa penentuan multi-pel, tidak mungkin untuk memperkirakan ketepatannya. Daftar tersebut meliputi Li, S, Sr, La, Ce, Pr, Sm, Gd, dan Dy. Kelimpahan ini mungkin masih dapat digunakan oleh konsorsium *Gaia* - ESO untuk aplikasi ilmiah, namun tidak termasuk dalam skala kelimpahan *Gaia*-ESO iDR2 yang final. Kelimpahan tersebut masih dalam skala yang ditentukan oleh hasil dari masing-masing Node yang menjadi bagiannya. Setiap kali kelimpahan tersebut digunakan dalam publikasi, perbedaan ini akan ditekankan.

8.1. Matahari dan analog matahari

Pada Gambar 16, kami menunjukkan pola kelimpahan Matahari, dan kembaran/analog Matahari 18 Sco (Porto de Mello & da Silva 1997), α Cen A, dan M 67 1194¹⁷ (Önehag dkk. 2011), seperti yang telah dihitung di sini. Pola kelimpahan matahari dibandingkan dengan kelimpahan yang dihitung oleh Grevesse & Sauval (1998) dan Grevesse dkk. (2007). Bintang-bintang lain dibandingkan dengan kelimpahan yang matahari diperoleh dalam penelitian ini (kelimpahan matahari disajikan pada Tabel 8). Dengan beberapa pengecualian, nilai matahari yang diperoleh di sini sesuai dengan kelimpahan matahari yang dirujuk di $\pm 0,10$ dex. Kelimpahan ketiga bintang lainnya sebagian besar sesuai dengan kelimpahan matahari hingga dalam $\pm 0,10$ dex. Untuk beberapa elemen, kelimpahan matahari tidak dicantumkan, baik karena garis yang lemah (misalnya, CNO) atau karena dihitung dengan jumlah Node yang lebih sedikit, sehingga tidak memenuhi kriteria yang telah dibahas di atas untuk menggabungkan kelimpahan. Ketika kelimpahan matahari tidak diperoleh, kami merekomendasikan penggunaan kelimpahan matahari dari Grevesse dkk. (2007) untuk dapat dikomparasikan dengan model atmosfer yang digunakan.

8.2. Tren dengan metalik

Pada Gbr. 17, kami menunjukkan tren metalitas untuk rasio $[X/Fe]$ dari beberapa elemen yang dipilih. Semua elemen menunjukkan perilaku dengan metalitas yang sesuai dengan apa yang telah ditetapkan oleh karya-karya terdahulu (lihat, misalnya, Edvardsson dkk. 1993; Venn dkk. 2004; Soubiran & Girard 2005; Reddy dkk. 2006; Adibekyan dkk. 2012; Bensby dkk. 2014, dan referensi-referensi yang ada di dalamnya). Dalam plot-plot ini, kami hanya memilih hasil dengan kualitas terbaik, tidak termasuk kelimpahan yang memiliki dispersi antar metode di atas 0,20 dex. Dimasukkannya kelimpahan ekstra ini cenderung meningkatkan sebaran

di setiap plot. Angka-angka tersebut hanya disertakan untuk mengilustrasikan kelimpahan mana yang telah diperoleh, dan bahwa perilaku umum tampaknya benar. Diskusi ilmiah yang tepat membutuhkan investigasi penuh, yang bukan merupakan tujuan dari makalah rilis ini.

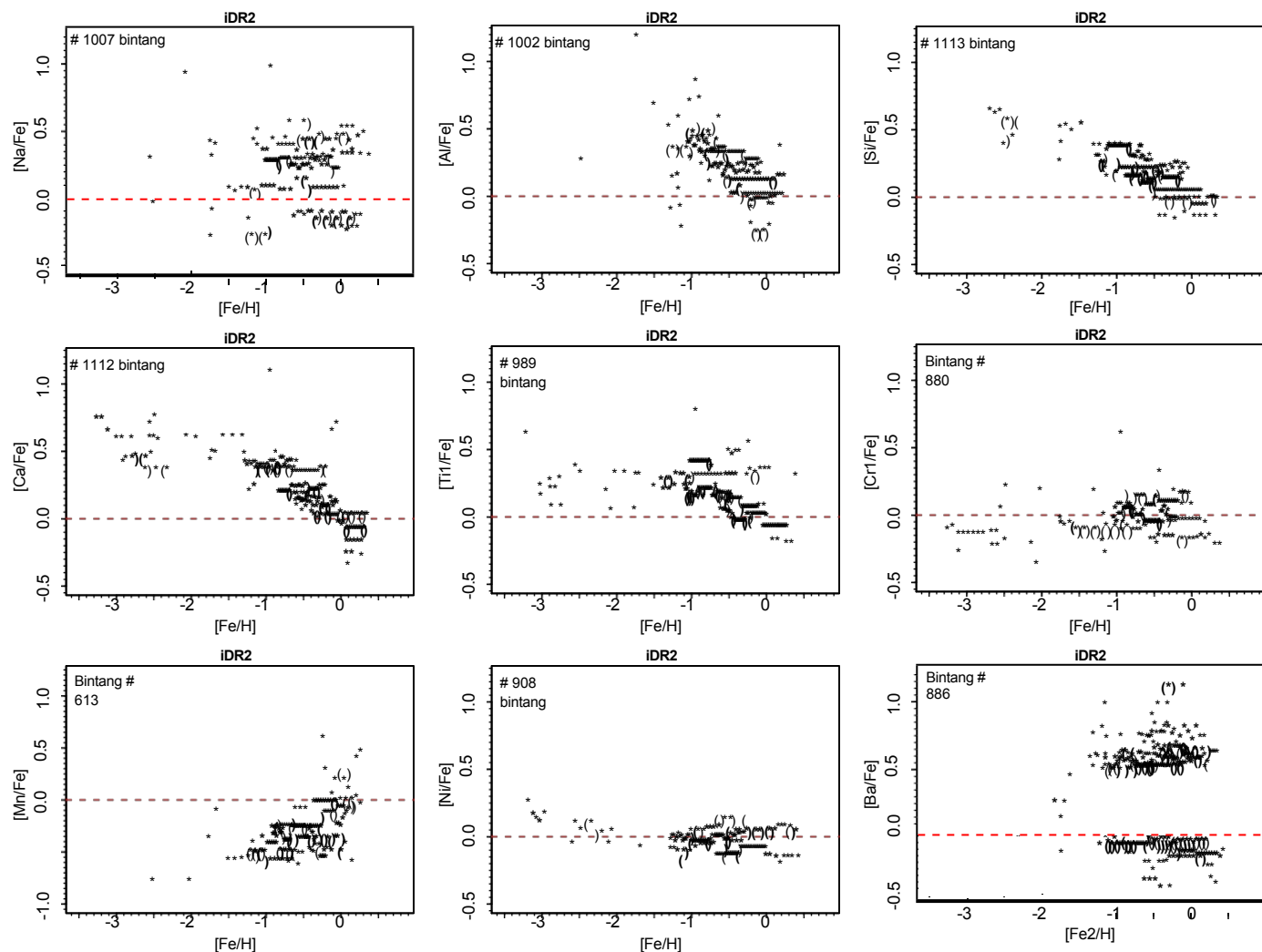
8.3. Kelimpahan besi dan logam

Produk data yang ditentukan di sini mencakup nilai $[Fe/H]$ yang ditentukan selama penurunan parameter atmosfer dan kelimpahan yang berasal dari garis Fe I dan Fe II. Nilai $[Fe/H]$ merupakan kombinasi dari nilai-nilai yang digunakan oleh Node untuk membatasi metalitas atmosfer model yang diadopsi untuk sebuah bintang. Untuk beberapa metodologi, metalitas ini adalah kelimpahan Fe, sedangkan untuk metodologi lainnya adalah nilai global kandungan logam, yang disebut sebagai $[M/H]$. Untuk mendapatkan nilai yang direkomendasikan dari metalitas sebagai parameter atmosfer, tidak ada perbedaan dibuat antara $[Fe/H]$ dan $[M/H]$. Untuk sekitar 75% bintang, hasil dari delapan atau lebih Node digunakan untuk mengkombinasikan $[Fe/H]$.

Kelimpahan yang berasal dari garis Fe I dan Fe II dihitung dengan menggunakan kelimpahan garis demi garis dari Simpul. Hanya lima dari Simpul yang memberikan kelimpahan garis besi. Karena nilai akhir dari kelimpahan Fe dan $[Fe/H]$ dihitung dengan cara yang berbeda, maka penting untuk memeriksa apakah keduanya konsisten. Perbandingan tersebut ditunjukkan pada Gbr. 18. Kami hanya menampilkan bintang-bintang yang dispersi kelimpahan Fe I antar metode di bawah 0,20 dex. Bintang katai dan bintang raksasa ditampilkan secara terpisah untuk memeriksa kemungkinan adanya efek sistematis pada bintang-bintang dengan tahap evolusi yang berbeda.

Jika nilai $[Fe/H]$ digunakan untuk menghitung kelimpahan Fe, dengan menggunakan $\log s(Fe)_{\pm} = 7.45$ dari Grevesse dkk. (2007), maka akan didapatkan selisih rata-rata antara 0,05 dan 0,08 dex terhadap kelimpahan Fe I yang tercantum, dengan sebaran sebesar 0,10 dex. Selisih ini memiliki besaran yang sama dengan selisih antara kelimpahan Fe I Matahari yang diperoleh di sini ($\log s(Fe)_{\pm} = 7.56$, Tabel 8) dan nilai dari Grevesse dkk. (2007). Dengan kata lain, jika kelimpahan Fe I bintang digunakan dengan kelimpahan Fe Matahari, maka nilai $[Fe/H]$ akan sesuai dengan nilai $[Fe/H]$ parameter atmosfer. Selisih antara kelimpahan Fe kami dan kelimpahan Fe Grevesse dkk. tampaknya konstan di seluruh sampel, kecuali untuk bintang-bintang yang miskin logam. Oleh karena itu, kami menyarankan agar berhati-hati saat menggunakan hasil untuk bintang-bintang miskin logam. Beberapa bintang yang paling kaya logam (katai dan raksasa) juga menunjukkan kecocokan yang buruk. Ini adalah kasus-kasus yang sulit untuk dianalisis

¹⁷ Bintang NGC 2682 YBP 1194 dengan nomor identifikasi dari Yadav dkk. (2008).



Gbr. 17. Tren kelimpahan dengan metalitas untuk beberapa elemen yang dipilih. Hanya hasil di mana dispersi antar metode di bawah 0,20 dex yang diplot. Perhatikan bahwa plot Mn I memiliki skala yang berbeda. Semua kelimpahan yang ditampilkan berasal dari spesies netral, kecuali untuk plot Ba, di mana Ba II dan Fe II digunakan.

karena semakin pentingnya perpaduan garis dan juga harus diperlakukan dengan hati-hati. Kami sedang berupaya meningkatkan analisis untuk rilis mendatang dan mengharapkan perbaikan untuk bintang-bintang ini.

Gambar 19 membandingkan rata-rata Fe abundance yang diperoleh dari garis Fe I dan Fe II pada bintang-bintang di mana dispersi antar-metode Fe I dan Fe II berada di bawah 0,20 dex. Bintang katai dan bintang raksasa ditampilkan secara terpisah, namun perilaku umumnya mirip. Terdapat kesesuaian yang baik antara nilai Fe I dan Fe II untuk hampir semua bintang. Selisih rata-rata kecil ($\sim 0,02$ - $0,03$ dex) dan sebarannya juga tampaknya berada dalam ketidakpastian kecuali, sekali lagi, untuk bintang-bintang yang paling miskin logam dalam sampel. Akan tetapi, kesetimbangan ionisasi merupakan asumsi yang tidak valid untuk bintang-bintang raksasa yang miskin logam karena adanya efek non-LTE dan kemungkinan perbedaan atmosfer yang sesungguhnya dengan atmosfer model. Seperti yang telah dilihat sebelumnya pada Tabel 4, sebagian besar metode EW, yang menerapkan kesetimbangan ionisasi, gagal dalam analisis bintang-bintang benchmark yang miskin logam. Oleh karena itu, hasil-hasilnya di wilayah ruang parameter ini tidak digunakan. Metode EW yang berhasil melakukan analisis menunjukkan perbedaan yang sangat besar antara log g yang diperoleh dari kesetimbangan ionisasi dan log g fundamental dari bintang-bintang patokan. Metode-metode yang tidak memaksakan kesetimbangan ionisasi (metode yang mencari spektrum sintetik yang paling pas) mereproduksi log g yang sebenarnya dari bintang acuan dengan lebih baik.

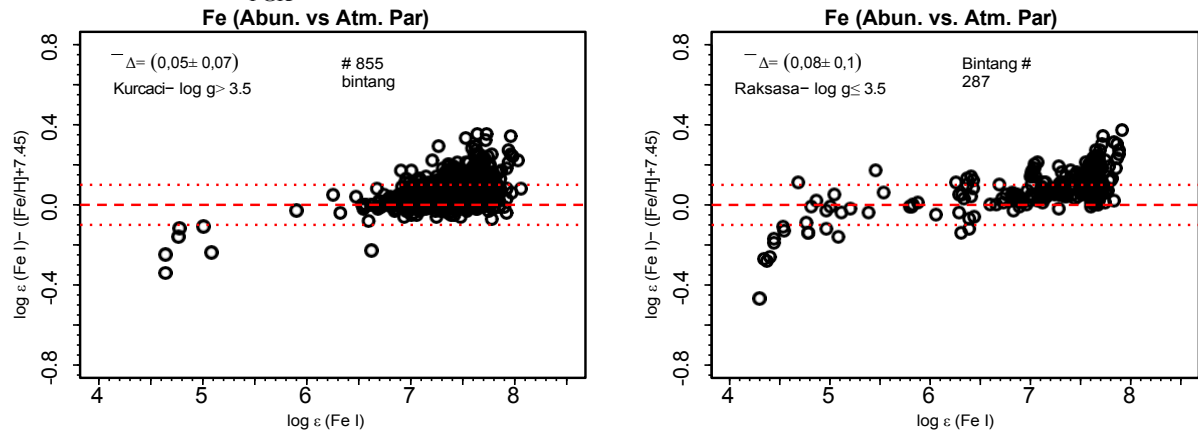
bintang. Oleh karena itu, kurangnya kesesuaian antara Fe I dan Fe II kemungkinan besar merupakan perilaku yang benar dan bukan masalah.

8.4. Dispersi dari metode ke metode

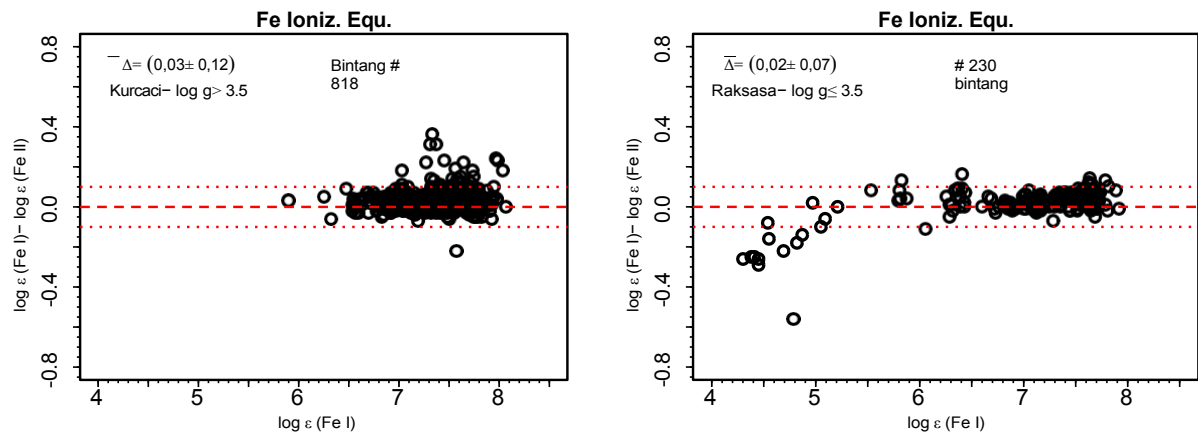
Dispersi kelimpahan dari metode ke metode dapat digunakan sebagai indikator ketepatan hasil yang diperoleh. Pada . 20, kami menunjukkan histogram MAD dari beberapa elemen yang dipilih. Pada sebagian besar kasus, sebagian besar hasil menunjukkan kesesuaian yang sangat baik di antara beberapa penentuan.

Biasanya, sebagian besar hasil memiliki MAD di bawah 0,20 dex. Kesepakatan ini lebih buruk untuk spesies terionisasi (seperti Ti II, Cr II, Ba II, dan Eu II) dan/atau spesies yang memiliki struktur hiper halus yang penting (seperti Mn dan Cu).

Pada Gbr. 21, kami menunjukkan perilaku dispersi Ti II dari metode ke metode sebagai fungsi dari parameter atmosfer. Tidak ada korelasi yang terlihat pada plot ini dan sama untuk spesies terionisasi lainnya. Gravitasi permukaan mungkin merupakan parameter yang lebih sulit untuk dibatasi (lihat Bagian 7.3). Penyimpangan dari kesetimbangan ionisasi, masalah dengan garis-garis FeII (yang biasanya lebih lemah dan/atau tercampur), dan masalah dengan data atom mungkin berada di balik peningkatan



Gambar 18. Perbandingan antara kelimpahan Fe I dan metalitas sebagai parameter atmosfer $[Fe/H]$, pada bintang katai (*panel kiri*) dan bintang raksasa (*panel kanan*). Metalitas $[Fe/H]$ dimasukkan ke dalam skala $\log s$ dengan menambahkan kelimpahan Fe matahari dari [Grevesse dkk. \(2007\)](#), $\log s(Fe)_{\odot} = 7,45$. Hanya hasil di mana dispersi Fe I antar metode adalah 0,20 dex atau kurang yang ditampilkan. Garis putus-putus menunjukkan perbedaan sebesar $\pm 0,10$ dex, garis putus-putus menunjukkan Fe I sama dengan $[Fe/H]$.



Gambar 19. Perbandingan antara kelimpahan Fe I dan Fe II, untuk memeriksa kesetimbangan ionisasi, pada bintang katai (*panel kiri*) dan bintang raksasa (*panel kanan*). Hanya hasil di mana dispersi antar-metode Fe I dan Fe II adalah 0,20 dex atau kurang yang ditampilkan. Garis putus-putus menunjukkan perbedaan $\pm 0,10$ dex, garis putus-putus menunjukkan Fe I sama dengan Fe II.

dispersi dari metode ke metode dari elemen-elemen ini. Kami sedang berupaya meningkatkan penentuan $\log g$ untuk rilis mendatang. Khususnya, survei ini mengamati bintang-bintang di bidang CoRoT, yang nilai $\log g$ asteroseismiknya sedang ditentukan, dan akan digunakan sebagai referensi untuk rilis berikutnya. Dengan nilai gravitasi permukaan yang lebih baik, kami berharap akan mendapatkan nilai yang lebih tepat dari spesies terionisasi.

Untuk kelimpahan iDR2, kami menggunakan MAD sebagai ketidakpastian tipikal. Hal ini mirip dengan menggunakan deviasi standar dari beberapa garis unsur yang sama, seperti yang biasa dilakukan dalam literatur. Kuartil ketiga dari distribusi dispersi antar metode berada di bawah 0,15 dex untuk Na I, Al I, Si I, Ca I, Sc II, dan

Ba II. Ini adalah elemen-elemen yang menentukan kualitas dari abundarian lebih tinggi. Untuk elemen lainnya, kuartil ketiga distribusi dispersi metode-ke-metode adalah antara 0,15 dan 0,20 dex untuk Mg I, Ti I, V I, Zr I, Mo I; antara 0,20 dan 0,25 dex untuk Sc I, Ti II, Cr I, Cr II, Ni I, Cu I, Y II, Zr II. Untuk spesies yang tersisa, Mn I, Co I, Zn I, Nd II, dan Eu II, antara 0,25 dan 0,35 dex. Elemen terakhir ini memiliki kelimpahan yang lebih tidak pasti dan harus digunakan dengan hati-hati.

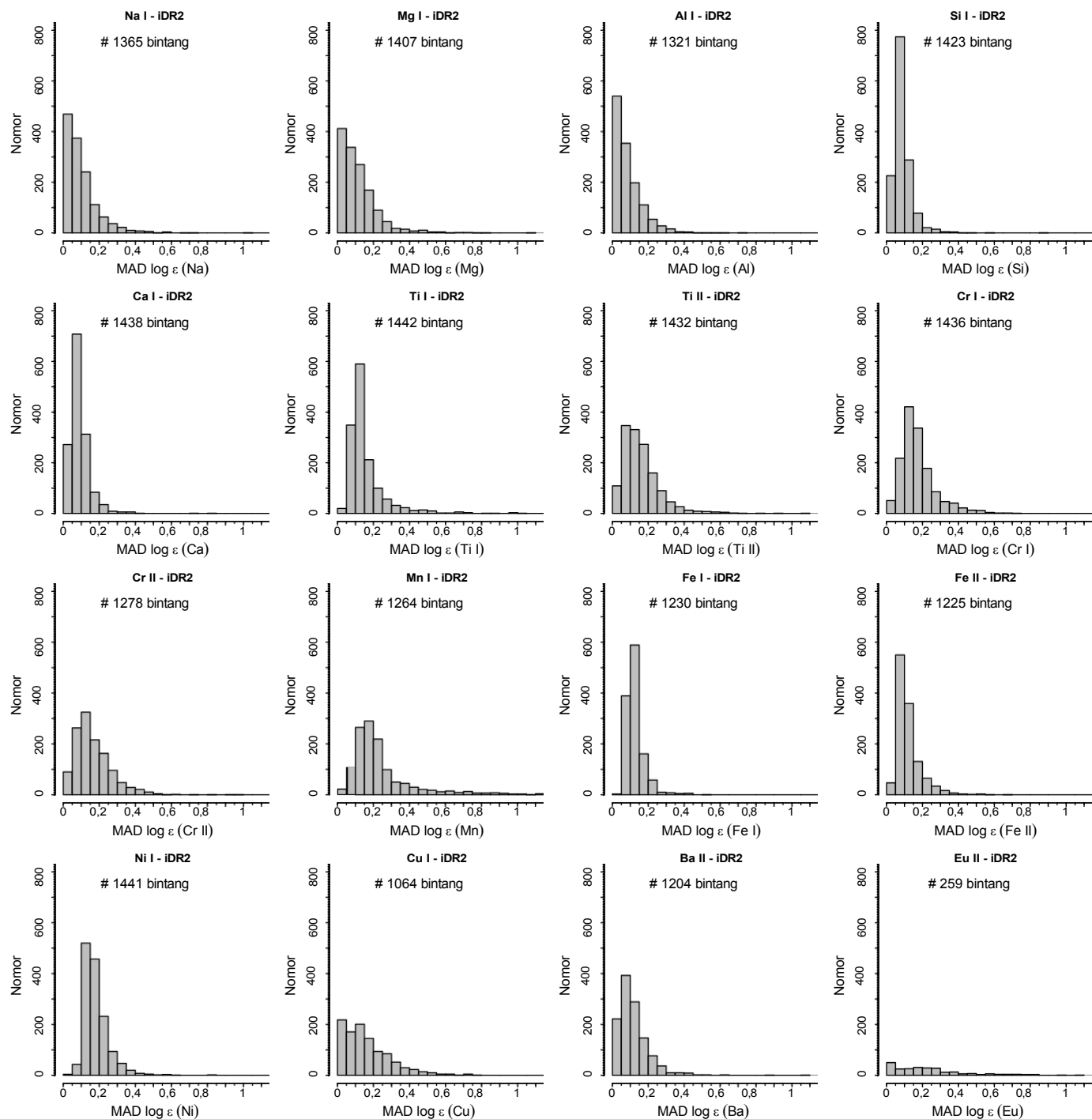
Kelimpahan yang paling kuat adalah kelimpahan yang memiliki dispersi antar metode yang lebih kecil, karena hal ini berarti kelimpahan yang dihitung oleh kelompok yang berbeda dapat disepakati dengan baik. Oleh karena itu, kami merekomendasikan agar kelimpahan untuk tujuan ilmiah dipilih

secara hati-hati, dengan mempertimbangkan dispersi antar metode. Nilai atas 0,20 dex tampaknya merupakan perbandingan yang wajar antara jumlah bintang dan presisi. Pemotongan yang lebih ketat harus dipertimbangkan jika diperlukan.

9. Ringkasan

Makalah ini menjelaskan analisis spektrum UVES resolusi tinggi dari bintang-bintang tipe FGK yang diperoleh dari Survei *Gaia-ESO*. Analisis bintang dan/atau spektrum tipe lain dijelaskan di tempat lain (Blomme dkk., dalam persiapan; [Lanzafame dkk. 2014](#); Recio-Blanco dkk., dalam persiapan). Data-data ini digunakan untuk mendapatkan nilai parameter atmosfer dan kelimpahan unsur yang lebih rinci dan akurat.

Berbagai metode digunakan untuk menentukan besaran-besaran ini. pipa tunggal akan lebih homogen secara internal, namun, dalam survei yang luas seperti *Gaia-ESO*, dapat memperkenalkan sistem yang berbeda di wilayah ruang parameter. Skala parameter terkait dengan skala yang ditentukan oleh bintang-bintang patokan *Gaia*, sekumpulan bintang yang telah dipelajari dengan baik dengan parameter atmosfer fundamental yang ditentukan secara independen dari spektroskopi. Selain itu, satu set gugus terbuka dan gugus bola digunakan untuk mengevaluasi kesehatan fisik dari hasil yang diperoleh. Setiap metode yang diimplementasikan dinilai berdasarkan tolok ukur untuk menentukan bobot dalam tiga kategori



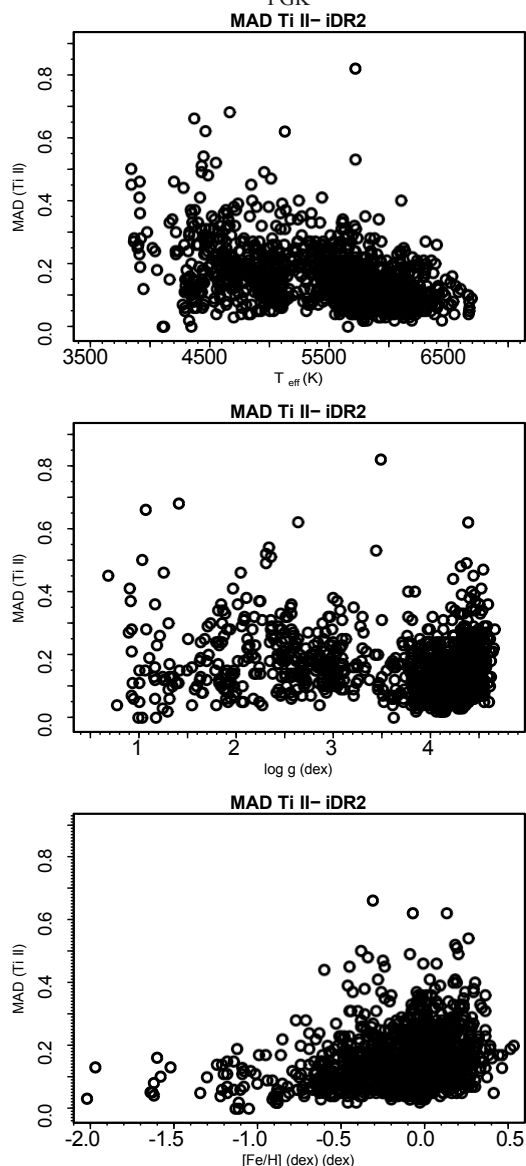
Gambar 20. Histogram dengan penyebaran antar metode dari spesies terpilih yang termasuk dalam hasil iDR2.

daerah yang berbeda dari ruang parameter: i) katai kaya logam; ii) bintang raksasa yang kaya logam; dan iii) bintang yang miskin logam. Hasil akhir yang direkomendasikan adalah median tertimbang dari hasil metode individual. Kami mengukur ketepatan hasil dengan menggunakan dispersi antar metode, sebuah produk *Gaia-ESO* yang unik. Hasil ini hanya mungkin dicapai berkat upaya gabungan besar-besaran dari semua ilmuwan yang terlibat dalam analisis spektrum dan akan sulit diukur di luar kolaborasi yang begitu besar.

Pekerjaan yang dijelaskan di sini adalah bagian dari upaya analisis yang dilakukan untuk mempersiapkan katalog publik yang akan datang dari produk data canggih *Gaia-ESO*. Analisis dua iDR telah dilakukan

selesai. Rilis data internal ini terjadi kira-kira setiap enam bulan ketika siklus analisis baru diluncurkan. Siklus analisis penuh membutuhkan waktu antara tiga hingga empat bulan untuk diselesaikan. Produk data dari analisis iDR3 (pada saat penulisan laporan ini masih berlangsung) akan disertakan dalam rilis publik bersama hasil analisis iDR2.

Hanya parameter dan kelimpahan terbaik yang direkomendasikan, yang diproses seperti yang dijelaskan di sini, dan kemudian mengalami homogenisasi akhir Survei secara luas (lihat François et al., dalam persiapan), yang akan ditampilkan dalam katalog publik. Identifikasi, pra-sentasi, dan diskusi topik-topik ilmiah individu berdasarkan hasil ini diserahkan kepada banyak tim ilmiah yang terlibat dalam proyek ini.



Gbr. 21. Dispersi dari metode ke metode dari kelimpahan Ti II sebagai fungsi dari parameter atmosfer (T_{eff} , $\log g$, dan $[\text{Fe}/\text{H}]$). Dispersi spesies terionisasi lainnya berperilaku dengan cara yang sama.

Survei Gaia-ESO. Oleh karena itu, kami menahan diri untuk tidak menyajikan diskusi ilmiah yang mendalam dengan menggunakan hasil yang dijelaskan di sini. Tabel-tabel dengan hasil rilis publik akan tersedia di arsip data ESO⁽¹⁸⁾, seperti yang telah dilakukan untuk spektrum *Gaia-ESO* yang telah direduksi gelombang pertama, dan juga di arsip sains *Gaia-ESO* Survey⁽¹⁹⁾ yang dikelola oleh Wide Field Astronomy Unit (WFAU) di Institute for Astronomy, Royal Observatory, Edinburgh, Inggris. Arsip sains ini dirancang untuk menyediakan fungsi-fungsi di luar yang tersedia di arsip ESO.

Dalam rilis internal terbaru (iDR2), kami memperoleh parameter atmosfer dari 1301 bintang tipe FGK. Untuk 75% dari bintang-bintang ini, beberapa penentuan T_{eff} , $\log g$, dan $[\text{Fe}/\text{H}]$ untuk bintang yang sama menghasilkan nilai yang lebih baik dari 82 K, 0,19 dex, dan 0,10 dex. Pengujian dan perbandingan yang disajikan di sini menunjukkan bahwa

diperlukan dengan hasil-hasil dari bintang-bintang dingin ($T_{\text{eff}} < 4000$ K) maupun bintang-bintang miskin logam ($[\text{Fe}/\text{H}] < -2.00$). Kelimpahan untuk 24 elemen diperoleh setidaknya di beberapa bintang: C, N, O, Na, Mg, Al, Si, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Zr, Mo, Ba, Nd, dan Eu. Kami memperoleh kelimpahan setidaknya 15 elemen berbeda untuk 1079 bintang dan setidaknya sepuluh elemen untuk 1203 bintang. Untuk kelimpahan, sebagian besar dari beberapa penentuan yang dilakukan memiliki ketepatan lebih dari 0,20 dex.

Daftar ini mencakup banyak sekali elemen yang terbentuk di semua saluran nukleosintetik. Hal ini menyoroti nilai unik dari sampel yang dianalisis di sini. Hal ini hanya dimungkinkan cakupan data UVES yang berkualitas tinggi, beresolusi tinggi, dan panjang gelombang yang besar. Potensi menarik dari hasil ini diperjelas oleh berbagai makalah sains awal yang dihasilkan oleh kolaborasi *Gaia-ESO* (misalnya, Bergemann dkk. 2014; Cantat-Gaudin dkk. 2014b; Donati dkk. 2014; Friel dkk. 2014; Magrini dkk. 2014; Spina dkk. 2014).

Nilai produk sains *Gaia-ESO* akan semakin meningkat ketika hasil dari misi *Gaia* (Perryman et al. 2001) tersedia. *Gaia* akan memberikan paralaks, gerak semu, dan metalitas spektrofotometri untuk $\sim 10^9$ bintang dan kecepatan radial untuk ~ 150 juta bintang. Akan tetapi, informasi kimiawi yang didapat dari spektrum *Gaia* sangat terbatas: kelimpahan logam ($[\text{Fe}/\text{H}]$) dan kelimpahan beberapa elemen, sebagian besar elemen α (Ca, Si, Ti), akan diperoleh untuk sekitar dua juta bintang yang lebih terang dari $V \leq 12$ -13 magnitudo (Wilkinson dkk. 2005). Kelimpahan elemen terbentuk dari proses nukleosintesis lainnya (proses-s, proses-r, elemen puncak Fe, elemen ringan) pada bintang-bintang yang lebih redup, yang mencakup volume yang lebih besar di Galaksi, membutuhkan pengamatan tambahan dari observatorium di Bumi, seperti yang dilakukan dalam Survei *Gaia-ESO* yang sedang berlangsung.

Sampel spektrum resolusi tinggi dari bintang tipe FGK yang dibahas di sini sudah termasuk yang terbesar dari jenisnya yang dianalisis homogen. Hasilnya akan memungkinkan kemajuan yang signifikan dalam bidang evolusi bintang serta pembentukan dan evolusi Bima Sakti.

Ucapan terima kasih. R.Sm., melalui beasiswa ESO, telah menerima dana dari Program Kerangka Kerja Ketujuh Komunitas Eropa (FP7/2007-2013) di bawah perjanjian hibah No. 229517. A.J.K. dan U.H. berterima kasih atas dukungan dari Dewan Antariksa Nasional Swedia (SNSB) melalui beberapa hibah. D.G. mengucapkan terima kasih atas dukungan dari BASAL Centro de Excelencia en Astrofísica y Tecnologías Afines (CATA) Chili melalui hibah PFB-06/2007. E.C., H.G.L., L.Sb. dan S.D. berterima kasih atas dukungan finansial dari Sonderforschungsbereich SFB 881 "Sistem Bima Sakti" (sub-proyek A2, A4, A5) dari German Research Foundation (DFG). I.S.R. mengucapkan terima kasih atas dukungan yang diberikan oleh proyek Gemini-CONICYT 32110029. L.Sb. dan S.D. berterima kasih atas dukungan Proyek IC120009 "Millennium Institute of Astrophysics (MAS)" dari Iniciativa Científica Milenio del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo de Chile. M.V. berterima kasih atas dukungan finansial dari Belspo untuk penyelenggaraan PRODEX COROT. P.B. berterima kasih atas dukungan dari PNCG dari INSU CNRS. Sebagian dari perhitungan telah dilakukan pada mesin "Mesocentre SIGAMM", yang diselenggarakan oleh Observatoire de la Côte d'Azur. P.d.L., V.H. dan

A.R. berterima kasih atas dukungan dari Agence Nationale de la Recherche (ANR) Perancis di bawah kontrak ANR-2010-BLAN-0508-01OTP dan dari "Programme National de Cosmologie et Galaxies" (PNCG) CNRS/INSU, Perancis. S.G.S., E.D.M., dan V.Z.A. berterima kasih atas dukungan dari Fundação para a Ciência e Tecnologia (Portugal) dalam bentuk hibah SFRH/BPD/47611/2008, SFRH/BPD/76606/2011, SFRH/BPD/70574/2010. S.Vi. terima kasih atas dukungan yang diberikan oleh FONDECYT reg. no. 1130721. T.B. didanai oleh hibah No. 621-2009-3911 dari Dewan Riset Swedia. T.Mo. berterima kasih atas dukungan finansial dari Belspo untuk kontrak PRODEX GAIA- DPAC. Kami berterima kasih kepada INAF dan Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR) dalam bentuk hibah "Premiale VLT 2012". Penelitian ini sebagian didukung oleh program FP7 Uni Eropa melalui hibah ERC nomor 320360 dan oleh Leverhulme Trust melalui hibah RPG-2012-541. Hasil yang disajikan di sini merupakan hasil diskusi yang diadakan selama lokakarya dan konferensi *Gaia-ESO* yang didukung oleh ESF (European Science Foundation) melalui Program GREAT Research Network. Pencarian ulang ini menggunakan basis data SIMBAD, yang dioperasikan di CDS, Strasbourg.

¹⁸ http://archive.eso.org/wdb/wdb/adp/phase3_spectral/form?phase3_collection=GaiaESO

¹⁹ <http://ges.roe.ac.uk/index.html>

Francis, Sistem Data Astrofisika NASA, kompilasi garis atom dari Vienna Atomic Line Database (VALD), dan basis data WEBDA, yang dioperasikan di Departemen Fisika Teoretis dan Astrofisika Universitas Masaryk.

Referensi

- Adibekyan, V. Z., Sousa, S. G., Santos, N. C., dkk. 2012, *A&A*, 545, A32 Ahn, C. P., Alexandroff, R., Allende Prieto, C., dkk. 2014, *ApJS*, 211, 17 Allende Prieto, C., Beers, T. C., Wilhelm, R., dkk. 2006, *ApJ*, 636, 804 Alonso, A., Arribas, S., & Martínez-Roger, C. 1999, *A&AS*, 140, 261 Alvarez, R., & Plez, B. 1998, *A&A*, 330, 1109
- Anstee, SD, & O'Mara, BJ 1991, *MNRAS*, 253, 549
- Baglin, A., Auvergne, M., Boissard, L., dkk. 2006, dalam *Pertemuan COSPAR*, Pertemuan Ilmiah COSPAR ke-36, 36, 3749
- Bailer-Jones, L., Andrae, R., Arcay, B., dkk. 2013, *A&A*, 559, A74 Barklem, PS, & O'Mara, BJ 1998, *MNRAS*, 300, 863
- Bensby, T., Feltzing, S., & Oey, M. S. 2014, *A&A*, 562, A71
- Bergemann, M., Lind, K., Collet, R., Magic, Z., & Asplund, M. 2012, *MNRAS*, 427, 27
- Bergemann, M., Ruchti, G. R., Serenelli, A., dkk. 2014, *A&A*, 565, A89 Blanco-Cuadros, S., Soubiran, C., Jofre, P., & Heiter, U. 2014, *A&A*, 566, A98 Boyajian, TS, von Braun, K., van Belle, G., dkk. 2012, *ApJ*, 757, 112 Bressan, A., Marigo, P., Girardi, L., dkk. 2012, *MNRAS*, 427, 127
- Burbidge, E. M., Burbidge, G. R., Fowler, W. A., & Hoyle, F. 1957, *Rev. Mod. Fisika*, 29, 547
- Cantat-Gaudin, T., Donati, P., Pancino, E., dkk. 2014a, *A&A*, 562, A10 Cantat-Gaudin, T., Vallenari, A., Zaggia, S., dkk. 2014b, *A&A*, 569, A17
- Carretta, E., Lucatello, S., Gratton, RG, Bragaglia, A., & D'Orazi, V. 2011, *A&A*, 533, A69
- Casagrande, L., Ramírez, I., Meléndez, J., Bessell, M., & Asplund, M. 2010, *A&A*, 512, A54
- Cayrel, R. 1988, dalam *Dampak Spektroskopi S/N Sangat Tinggi pada Fisika Bintang*, eds. G. Cayrel de Strobel, & M. Spite, IAU Symp., 132, 345
- Cayrel, R., Depagne, E., Spite, M., dkk. 2004, *A&A*, 416, 1117
- de Laverny, P., Recio-Blanco, A., Worley, C. C., & Plez, B. 2012, *A&A*, 544, A126
- Dekker, H., D'Odorico, S., Kaufer, A., Delabre, B., & Kotzłowski, H. 2000, dalam *Instrumentasi dan Detektor Teleskop Optik dan IR*, eds. M. Iye, & A. F. Moorwood, SPIE Conf. Ser. 4008, 534
- Deng, L.-C., Newberg, H. J., Liu, C., dkk. 2012, *Res. Astron. Astrofisika*, 12, 735
- Donati, P., Cantat Gaudin, T., Bragaglia, A., dkk. 2014, *A&A*, 561, A94 Edvardsson, B., Andersen, J., Gustafsson, B., dkk. 1993, *A&A*, 275, 101 Frasca, A., Alcalá, J. M., Covino, E., dkk. 2003, *A&A*, 405, 149
- Frasca, A., Guillout, P., Marilli, E., dkk. 2006, *A&A*, 454, 301 Friel, E. D., Donati, P., Bragaglia, A., dkk. 2014, *A&A*, 563, A117
- Gilmore, G., Randich, S., Asplund, M., dkk. 2012, *The Messenger*, 147, 25 González Hernández, JI, & Bonifacio, P. 2009, *A&A*, 497, 497
- Grevesse, N., & Sauval, A.J. 1998, *Space Sci. Rev.* 85, 161
- Grevesse, N., Asplund, M., & Sauval, A. J. 2007, *Space Sci. Rev.* 130, 105 Guillout, P., Klutsch, A., Frasca, A., dkk. 2009, *A&A*, 504, 829 Gustafsson, B., Edvardsson, B., Eriksson, K., dkk. 2008, *A&A*, 486, 951 Harris, W. E. 1996, *AJ*, 112, 1487
- Hinkle, K., Wallace, L., Valenti, J., & Harmer, D. 2000, *Atlas Inframerah Tampak dan Inframerah Dekat Spektrum Arcturus 3727-9300 Å*
- Jofré, P., Heiter, U., Soubiran, C., dkk. 2014, *A&A*, 564, A133 Kordopatis, G., Gilmore, G., Steinmetz, M., dkk. 2013, *AJ*, 146, 134
- Kupka, F., Dubernet, M.-L., & Kolaborasi VAMDC. 2011, *Baltic Astron*, 20, 503
- Kurucz, R. 1993, *Program Atmosfer Bintang ATLAS9 dan grid 2 km s⁻¹*. Kurucz CD-ROM No. 13. Cambridge, Mass: Smithsonian Astrophysical Observatory, 13
- Kurucz, R. L. 2005, *Mem. Soc. Astron. It. Supp.*, 8, 14
- Lanzafame, A. C., Frasca, A., Damiani, F., dkk. 2014, *A&A*, submitted Magrini, L., Randich, S., Friel, E., dkk. 2013, *A&A*, 558, A38 Magrini, L., Randich, S., Romano, D., dkk. 2014, *A&A*, 563, A44 Masseron, T. 2006, *Tesis Ph.D.*, Observatoire de Paris, Francis McSwain, M. V., & Gies, D. R. 2005, *ApJS*, 161, 118
- Mészáros, S., & Allende Prieto, C. 2013, *MNRAS*, 430, 3285 Morel, T., & Miglio, A. 2012, *MNRAS*, 419, L34
- Mucciarelli, A., Pancino, E., Lovisi, L., Ferraro, , & Lapenna, E. 2013, *ApJ*, 766, 78
- Nelder, JA, & Mead, R. 1965, *Computer Journal*, 7, 308
- Neves, V., Santos, NC, Sousa, SG, Correia, ACM, & Israel, G. 2009, *A&A*, 497, 563
- Önehag, A., Korn, A., Gustafsson, B., Stempels, E., & Vandenberg, D. A. 2011, *A&A*, 528, A85
- Pancino, E. 2012, *Proc. kalibrasi dan standarisasi survei dan misi besar dalam Astronomi dan Astrofisika*, ASP Conf. Ser. yang diajukan [arXiv:1206.6291].
- Pasquini, L., Avila, G., Blecha, A., dkk. 2002, *The Messenger*, 110, 1 Perryman, M. A. C., de Boer, K. S., Gilmore, G., dkk. 2001, *A & A*, 369, 339 Plez, B. 2012, *Turbospectrum: Kode untuk sintesis spektral, astrofisika Sumber Perpustakaan Kode*
- Porto de Mello, GF, & da Silva, L. 1997, *ApJ*, 482, L89
- Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., & Flannery, B. P. 1992, *Numerical recipes in C. The art of scientific computing* (Cambridge University Press)
- Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., & Flannery, B. P. 2002, *Numerical recipes in C++ : the art of scientific computing* (Cambridge University Press)
- Prugniel, P., & Soubiran, C. 2001, *A&A*, 369, 1048
- Ramírez, I., & Meléndez, J. 2005, *ApJ*, 626, 465
- Randich, S., & Gilmore, G. 2013, *The Messenger*, 154, 47
- Recio-Blanco, A., Bijaoui, A., & de Laverny, P. 2006, *MNRAS*, 370, 141 Reddy, B. E., Lambert, D. L., & Allende Prieto, C. 2006, *MNRAS*, 367, 1329
- Rojas-Ayala, B., Covey, KR, Muirhead, PS, & Lloyd, JP 2012, *ApJ*, 748, 93
- Ruffoni, M. P., Den Hartog, E. A., Lawler, J. E., dkk. 2014, *MNRAS*, 441, 3127
- Sacco, GF, Morbidelli, L., Franciosini, E., dkk. 2014, *A&A*, 565, A113 Sbordon, L., Bonifacio, P., Castelli, F., & Kurucz, R. L. 2004, *Mem. Soc. Astron. It. Suplemen*, 5, 93
- Sbordone, L., Caffau, E., Bonifacio, P., & Duffau, S. 2014, *A&A*, 564, A109 Schlegel, DJ, Finkbeiner, DP, & Davis, M. 1998, *ApJ*, 500, 525
- Serenelli, AM, Bergemann, M., Ruchti, G., & Casagrande, L. 2013, *MNRAS*, 429, 3645
- Skrutskie, MF, Cutri, RM, Stiening, R, dkk. 2006, *AJ*, 131, 1163 Sneden, CA 1973, *Tesis Doktoral*, Universitas Texas di Austin Soubiran, C., & Girard, P. 2005, *A&A*, 438, 139
- Soubiran, C., Le Campion, J.-F., Cayrel de Strobel, G., & Caillo, A. 2010, *A&A*, 515, A111
- Sousa, S. G., Santos, N. C., Israel, G., Mayor, M., & Monteiro, M. J. P. F. G. 2007, *A & A*, 469, 783
- Sousa, SG, Santos, NC, Mayor, M., dkk. 2008, *A&A*, 487, 373 Sousa, SG, Santos, NC, Israel, G., dkk. 2011, *A&A*, 526, A99 Sousa, SG, Santos, N. C., Adibekyan, V., dkk. 2014, *A&A*, 561, A21 Spina, L., Randich, S., Palla, F., dkk. 2014, *A&A*, 567, A55
- Steinmetz, M., Zwitter, T., Siebert, A., dkk. 2006, *AJ*, 132, 1645 Stetson, PB, & Pancino, E. 2008, *PASP*, 120, 1332
- Stetson, P. B., & Pancino, E. 2010, *DAOSPEC: Kode Otomatis untuk Mengukur Lebar Ekuivalen dalam Spektrum Bintang Beresolusi Tinggi*, Perpustakaan Kode Sumber astrofisika
- Tabernero, HM, Montes, D., & González Hernández, JI 2012, *A&A*, 547, A13
- Valenti, JA, & Piskunov, N. 1996, *A&AS*, 118, 595
- Valenti, JA, Piskunov, N., & Johns-Krull, CM 1998, *ApJ*, 498, 851 Valentini, M., Morel, T., Miglio, A., Fossati, L., & Munari, U. 2013, dalam *EPJ Web dari Conf.* 43, 3006
- Venn, KA, Irwin, M., Shetrone, MD, dkk. 2004, *AJ*, 128, 1177
- Wallace, L., Hinkle, K., & Livingston, W. 1998, *Atlas spektrum fotosfer matahari dari 13.500 hingga 28.000 cm⁻¹* (3570 hingga 7405 Å)
- Wallerstein, G., Iben, Jr, I., Parker, P., dkk. 1997, *Rev. Mod. Phys.*, 69, 995 Weiss, A., & Schlattl, H. 2008, *Ap&SS*, 316, 99
- Wilkinson, M. I., Vallenari, A., Turon, C., dkk. 2005, *MNRAS*, 359, 1306 Worley, C. C., de Laverny, P., Recio-Blanco, A., dkk. 2012, *A&A*, 542, A48 Yadav, KRS, Bedin, LR, Piotto, G., dkk. 2008, *A&A*, 484, 609
- Yanny, B., Rockosi, C., Newberg, HJ, dkk. 2009, *AJ*, 137, 4377 Yong, D., & Grundahl, F. 2008, *ApJ*, 672, L29
- Zucker, D. B., de Silva, G., Freeman, K., Bland-Hawthorn, J., & Tim Hermes. 2012, dalam *Arkeologi Galaksi: Kosmologi Medan Dekat dan Pembentukan Sakti*, eds. W. Aoki, M. Ishigaki, T. Suda, T. Tsujimoto, & N. Arimoto, ASP Conf. Ser. 458, 421

¹ European Southern Observatory, Karl-Schwarzschild-Str. 2, 85748 Garching bei München, Jerman

e-mail: rsmiljanic@ncac.torun.pl

²) Departemen Astrofisika, Pusat Astronomi Nicolaus Copernicus, ul. Rabian'ska 8, 87-100 Torun, Polandia

³ Departemen Fisika dan Astronomi, Divisi Astronomi dan Fisika Antariksa, Universitas Uppsala, Kotak 516, 75120 Uppsala, Swedia

e-mail: andreas.korn@physics.uu.se

- ⁴ Max Planck Institute for Astrophysics, Karl-Schwarzschild Str. 1, 85741 Garching, Germany
- ⁵ Institute of Astronomy, University of Cambridge, Madingley Road, Cambridge, CB3 0HA, UK
- ⁶ INAF - Osservatorio Astrofisico di Catania, via S. Sofia 78, 95123 Catania, Italia
- ⁷ INAF - Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Largo Enrico Fermi 5, 50125 Florence, Italia
- ⁸ Université Libre de Bruxelles, Campus Plaine, CP 226, Boulevard du Triomphe, 1050 Bruxelles, Belgia
- ⁹ INAF - Osservatorio Astronomico di Bologna, via Ranzani 1, 40127 Bologna, Italia
- ¹⁰ Pusat Data Sains ASI, via del Politecnico SNC, 00133, Roma, Italia
- ¹¹ Observatorium Lund, Departemen Astronomi dan Fisika Teoretis, Kotak 43, 221 00 Lund, Swedia
- ¹² Departamento de Astronomía, Universidad de Concepcion, Casilla 160 Concepcion, Chile
- ¹³ Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg, Landessternwarte, Königstuhl 12, 69117 Heidelberg, Jerman
- ¹⁴ Institut Astrofisika Milenium, Av. Vicuña Mackenna 4860, 782-0436 Macul, Santiago, Chile
- ¹⁵ Pontificia Universidad Católica de Chile, Av. Vicuña Mackenna 4860, 782-0436 Macul, Santiago, Chile
- ¹⁶ Centro de Astrofisica, Universidade do Porto, Rua das Estrelas, 4150-762 Porto, Portugal
- ¹⁷ Departamento de Física e Astronomia, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre, 4169-007 Porto, Portugal
- ¹⁸ Dept. Astrofisica, Facultad de CC. Físicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, Spanyol
- ¹⁹ Institut Fisika Teoretis dan Astronomi, Universitas Vilnius, Goštauto 12, 01108 Vilnius, Lithuania
- ²⁰ Leibniz-Institut für Astrofisika Potsdam, An der Sternwarte 16, 14482 Potsdam, Jerman
- ²¹ Laboratoire Lagrange (UMR 7293), Université de Nice-Sophia Antipolis, CNRS, Observatoire de la Côte d'Azur, BP 4229, 06304 Nice Cedex 4, Prancis
- ²² Instituto de Astrofisica de Canarias, C via Lactea s/n, 38200 La Laguna, Tenerife, Spanyol
- ²³ Dept. Astrofisica, Universidad de La Laguna (ULL), 38206 La Laguna, Tenerife, Spanyol
- ²⁴ LAB UMR 5804, Universitas Bordeaux et CNRS, 33270 Floirac, Prancis
- ²⁵ GEPI, Observatoire de Paris, CNRS, Univ. Paris Diderot, 5 place Jules Janssen, 92190 Meudon, France
- ²⁶ INAF - Osservatorio Astronomico di Padova, Vicolo Osservatorio 2 35122 Padova, Italia
- ²⁷ Dipartimento di Fisica e Astronomia "G. Galilei" Università degli Studi di Padova, via Marzolo 8, 35131 Padova, Italia
- ²⁸ Dipartimento di Fisica & Astronomia, Università di Bologna, Viale Berti/Pichat 6/2, 40127 Bologna, Italia
- ²⁹ Departemen Astronomi, Universitas Indiana, Bloomington, IN 47405, AS
- ³⁰ Institut Kavli untuk Penelitian Astrofisika & Antariksa, Massachusetts Institute of Technology, 77 Massachusetts Avenue, Cambridge, MA 02139, AS
- ³¹ Bagian Astrofisika, Departemen Fisika dan Astronomi, Universitas Catania, via S. Sofia 78, 95123 Catania, Italia
- ³² Institut d'Astrophysique et de Géophysique, Université de Liège, Allée du 6 Août, Bât. B5c, 4000 Liège, Belgia
- ³³ Institut Ilmu Pengetahuan Antariksa (IEEC-CSIC), Kampus UAB, Fac. Ciències, Torre C5 parell 2, 08193 Bellaterra, Spanyol
- ³⁴ Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Firenze, via Sansone, 1, 50019 Sesto Fiorentino (FI), Italia
- ³⁵ Research School of Astronomy and Astrophysics, Australian National University, Cotter Road, Weston Creek, ACT 2611, Australia
- ³⁶ Rudolf Peierls Centre for Theoretical Physics, Keble Road, Oxford OX1 3NP, Inggris
- ³⁷ Pusat Penelitian Astrofisika, Lembaga Penelitian Sains dan Teknologi, Universitas Hertfordshire, Hatfield, AL10 9AB, Inggris
- ³⁸ Institute for Astronomy, University of Edinburgh, Blackford Hill, Edinburgh EH9 3HJ, UK
- ³⁹ Kelompok Astrofisika, Institut Penelitian Lingkungan, Ilmu Fisika dan Matematika Terapan, Universitas Keele, Keele, Staffordshire ST5 5BG, Inggris
- ⁴⁰ INAF - Osservatorio Astronomico di Palermo, Piazza del Parlamento 1, 90134 Palermo, Italia
- ⁴¹ Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal, Universidad de Alicante, Apdo. 99, 03080 Alicante, Spanyol
- ⁴² ESA, ESTEC, Keplerlaan 1, PO Box 299, 2200 AG Noordwijk, Belanda
- ⁴³ Max Planck Institute für Astronomy, Königstuhl 17, 69117 Heidelberg, Jerman
- ⁴⁴ Instituto de Astrofisica de Andalucia-CSIC, Apdo. 3004, 18080 Granada, Spanyol
- ⁴⁵ Observatorium Kerajaan Belgia, Ringlaan 3, 1180 Brussel, Belgia
- ⁴⁶ Instituto de Física y Astronomía, Universidad de Valparaíso, 2340000 Valparaíso, Chile
- ⁴⁷ Observatorium Selatan Eropa, Alonso de Cordova, 3107 Vitacura, Santiago de Chile, Chile

Lampiran A: Node dan metode

Data UVES dari bintang-bintang tipe akhir dianalisis secara paralel oleh 13 Node yang berbeda. Rincian dari setiap metodologi analisis dan kode yang digunakan dijelaskan pada subbab di bawah ini. Tabel 2 merangkum beberapa karakteristik metodologi yang digunakan oleh masing-masing Node.

A.1. Bologna

Simpul Bologna menggunakan metode EW klasik untuk menghilangkan parameter atmosfer dan kelimpahan. Parameter atmosfer ditentukan dengan menghapus tren kelimpahan garis besi dengan potensial eksitasi dan dengan EW, dan dengan meminimalkan perbedaan antara kelimpahan yang diberikan oleh garis besi terionisasi dan netral. Pemeriksaan kesehatan akhir dari metode ini dilakukan dengan memverifikasi bahwa tidak tren kelimpahan besi yang signifikan dengan panjang gelombang. Kelimpahan diperoleh untuk setiap garis serapan spesies yang diminati.

Untuk mengukur EW, digunakan kode FORTRAN otomatis DAOSPEC (Stetson & Pancino 2008, 2010). DAOSPEC dirancang untuk mengukur EW dalam spektrum bintang beresolusi tinggi ($R \geq 15.000$) dengan S/N tinggi (≥ 30). Berdasarkan permintaan, kode ini menormalkan spektrum dengan menyesuaikan, secara iteratif, polinomial terhadap spektrum residual (yaitu spektrum yang diperoleh dengan menghapus semua garis yang diukur dari spektrum asli). DAOSPEC menyediakan ketidakpastian global dari kecocokan dalam bentuk rata-rata root mean square (rms) dari spektrum residual, pengukuran kecepatan radial (dengan sebaran 1σ dan jumlah garis yang menjadi dasar pengukuran), dan EW dengan ketidakpastian dan parameter kualitas.

DAOSPEC dapat menjadi agak sulit untuk dikonfigurasi, terutama ketika banyak spektrum dengan sifat yang berbeda, yaitu S/N, kerapatan garis, lebar setengah maksimum (FWHM) dan cakupan spektral yang tepat, harus diukur dalam waktu singkat, seperti halnya Gaia-ESO. Oleh karena itu, kode dieksekusi melalui pembungkus yang secara otomatis mengonfigurasi banyak parameternya, menyediakan semua statistik dan alat grafis untuk mengeksplorasi hasil dan mengoreksi kasus-kasus yang menyimpang. Program pembungkus ini disebut DOOP (DAOSPEC Option Optimizer Pipeline, Cantat-Gaudin dkk. 2014a).

Terakhir, untuk mendapatkan parameter atmosfer dan unsur

kelimpahan secara otomatis, kode GALA⁽²⁰⁾ digunakan (Mucciarelli et al. 2013). GALA didasarkan pada rangkaian Kurucz kelimpahan kode perhitungan (Kurucz 2005; Sbordone et al. 2004). GALA dapat berjalan mulai dari tebakan pertama secara acak dari parameter atmosfer dan dengan cepat menyatu dengan solusi yang berarti untuk spektrum dengan resolusi, S/N, dan cakupan panjang gelombang dari spektrum UVES yang dianalisis di sini. GALA melakukan rejeksi garis-garis absorpsi yang terlalu lemah atau terlalu kuat (batas-batasnya ditentukan sekitar $\log(EW/\lambda) \approx -4,7$ dan $-5,9$, tergantung pada bintangnya), memilih hanya garis-garis yang memiliki kesalahan pengukuran tertentu (memotong di atas 5-20%, tergantung pada spektrumnya), dan melakukan rejeksi sigma-kliping pada kelimpahannya (diatur ke $2,5\sigma$). GALA memberikan ketidakpastian pada parameter atmosfer dan kelimpahan yang diturunkan, baik dalam bentuk sebaran 1σ dari kelimpahan setiap garis (bersama dengan jumlah garis yang digunakan untuk setiap spesies) dan dalam bentuk kesalahan pada kelimpahan yang diakibatkan oleh ketidakpastian pada parameter atmosfer (menggunakan resep dari Cayrel dkk., 2004, dalam kasus analisis ini).

A.2. Catania (OACT)

Simpul Catania menggunakan kode ROTFIT, yang dikembangkan oleh Frasca dkk. (2003, 2006) dalam IDL lingkungan perangkat lunak⁽²¹⁾. Kode ini awalnya hanya melakukan klasifikasi spektral MK otomatis dan pengukuran $v \sin i$ yang meminimalkan χ^2 dari spektrum residual (yang diamati - referensi). Spektrum referensi berasal dari pustaka spektrum yang diadopsi dan diperluas secara artifisial melalui konvolusi dengan profil rotasi $v \sin i$ yang meningkat. Kode ini kemudian diperbarui untuk mengevaluasi parameter atmosfer T_{eff} , $\log g$, dan $[\text{Fe}/\text{H}]$ dengan menggunakan daftar bintang referensi dengan parameter yang telah diketahui (misalnya, Guillout et al. 2009).

Tidak seperti kode-kode yang didasarkan pada pengukuran EW dan kurva pertumbuhan, ROTFIT dapat diaplikasikan pada spektrum bintang-bintang tipe FGK yang memiliki kecepatan rotasi yang relatif tinggi ($v \sin i \geq 20 \text{ km s}^{-1}$), di mana percampuran yang parah dari garis-garis individual menghambat atau sama sekali tidak memungkinkan untuk menggunakan metode-metode di atas. Namun demikian, analisis yang dilakukan terbatas pada bintang-bintang dengan $v \sin i \leq 300 \text{ km s}^{-1}$.

Pustaka referensi yang terdiri dari 270 spektrum resolusi tinggi ($R = 42.000$) dari bintang-bintang tipe FGKM yang berotasi lambat tersedia di arsip ELODIE (Prugniel & Soubiran 2001) digunakan. Untuk sebagian besar bintang-bintang referensi ini, pada dasarnya bintang-bintang memiliki tipe spektrum pada rentang pertengahan F hingga akhir K, parameter atmosfernya telah ditentukan ulang oleh L. Spina dengan menggunakan metodologi EPInArBo (lihat Subbab A.5). Untuk beberapa bintang yang tersisa, nilai terbaru yang ditabulasikan dalam katalog PASTEL (Soubiran dkk. 2010) atau diturunkan dari karya Rojas-Ayala, yang dkk. (2012) dan Boyajian dkk. (2012) untuk tipe-Mkatai, digunakan. Meskipun ruang parameter tidak disampel secara teratur, bintang-bintang referensi mencakup seluruh area relevan untuk analisis bintang-bintang tipe FGK dengan $[\text{Fe}/\text{H}] \geq -2,0$.

Segmen spektrum dengan masing-masing 100 Å dianalisis secara indepth. Daerah spektrum yang sangat dipengaruhi oleh garis tellurik dan inti garis Balmer, yang dapat terkontaminasi oleh emisi kromosfer, tidak disertakan. Parameter bintang akhir T_{eff} , $\log g$, $[\text{Fe}/\text{H}]$, dan $v \sin i$, adalah rata-rata hasil dari setiap segmen spektral ke- i yang dibobotkan sesuai dengan χ^2 kecocokan dan jumlah informasi yang terkandung dalam segmen tersebut, yang dinyatakan dengan total serapan garis $f = (F_{\lambda}/F_c - 1)d\lambda$. Ketidakpastian T_{eff} , $\log g$, $[\text{Fe}/\text{H}]$, dan $v \sin i$ adalah kesalahan standar dari rata-rata tertimbang yang ditambahkan dalam kuadratur ke rata-rata ketidakpastian usia dari parameter bintang dari bintang-bintang acuan

dievaluasi sebagai $\pm 50 \text{ K}$, $\pm 0.1 \text{ dex}$, $\pm 0.1 \text{ dex}$, dan $\pm 0.5 \text{ km s}^{-1}$ untuk T_{eff} ,

$\log g$, $[\text{Fe}/\text{H}]$, dan $v \sin i$, masing-masing. Selain itu, spesifikasi MK-Jenis dan kelas luminositas bintang juga disediakan. Kelas-kelas ini didefinisikan sebagai kelas bintang acuan yang lebih sering cocok dengan spektrum target di wilayah spektrum yang berbeda.

A.3. CAUP

Simpul CAUP menentukan parameter atmosfer bintang (T_{eff} , $\log g$, $[\text{Fe}/\text{H}]$) dan metalitas secara otomatis, dengan metode yang digunakan pada penelitian sebelumnya yang kini diadaptasi untuk Survei Gaia-ESO (misal, Sousa dkk. 2008, 2011). Metode ini didasarkan pada keseimbangan eksitasi dan ionisasi garis-garis besi dengan menggunakan $[\text{Fe}/\text{H}]$ sebagai proksi untuk metalitas. Daftar garis besi yang digunakan untuk mengkonfigurasi parameter dipilih dari daftar garis Gaia-ESO dengan menggunakan prosedur baru yang dijelaskan secara rinci dalam Sousa dkk. (2014).

²⁰ GALA didistribusikan secara bebas di situs web proyek Cosmic-Lab, <http://www.cosmic-lab.eu/Cosmic-Lab/Products.html>

²¹ IDL (Bahasa Data Interaktif) adalah merek dagang terdaftar dari ITT Visual Information Solutions.

EW garis-garis tersebut secara otomatis ditentukan dengan menggunakan kode ARES ((dkk. 2007)²² SousaSousa dkk. (2008, 2011) , mengikuti pendekatan untuk menyesuaikan ARES sesuai dengan S/N masing-masing spektrum.

Parameter bintang dihitung dengan asumsi LTE menggunakan MOOG versi 2002 (Snedden 1973) dan kisi-kisi model MARCS. Untuk itu, kode interpolasi yang disediakan dengan kisi MARCS dimodifikasi untuk menghasilkan model keluaran yang dapat dibaca oleh MOOG. Selain itu, program pembungkus diimplementasikan pada kode interpolasi untuk mengotomatisasi metode ini.

Sebagai resep redaman, digunakan pendekatan 1σ yang dikalikan dengan faktor yang direkomendasikan oleh grup Blackwell (opsi 2 dalam MOOG). Parameter atmosfer diambil dari daftar garis Fe I dan Fe II yang telah dipilih sebelumnya. Sebuah algoritma mini misasi, Metode Simpleks Downhill (Press et al. 1992), digunakan untuk menemukan parameter terbaik. Untuk mengidentifikasi pencilaan yang disebabkan oleh nilai EW tidak tepat, pemotongan 3σ pada garis Fe I dan Fe II dilakukan setelah penentuan parameter bintang. Setelah pemotongan ini, prosedur diulangi tanpa garis yang ditolak. Ketidakpastian dalam parameter bintang ditentukan seperti pada penelitian sebelumnya (Sousa dkk. 2008, 2011).

Kelimpahan individu diperoleh dengan menggunakan alat dan metodologi yang sama seperti yang dijelaskan di atas, tetapi menggunakan MOOG versi 2010 (lihat Neves dkk. 2009; Adibekyan dkk. 2012, untuk rinciannya). Daftar garis untuk unsur-unsur selain Fe dipilih melalui pencocokan silang antara daftar garis yang digunakan oleh Adibekyan dkk. (2012.) dan daftar garis yang disediakan oleh Gaia-ESO Data atomik dari Survei *Gaia-ESO* diadopsi. Kesalahan untuk kelimpahan mewakili sebaran antar baris.

A.4. Concepcion

Simpul Concepcion menggunakan kelimpahan dari garis Fe I dan Fe II untuk mendapatkan parameter atmosfer dengan menggunakan metode EW. Parameter atmosfer ditentukan dengan memenuhi kesetimbangan eksitasi dan ionisasi, dan dengan meminimalkan tren kelimpahan dengan EW. Optimalisasi spektroskopi dari semua parameter atmosfer dicapai secara bersamaan.

EW ditentukan dengan kode otomatis DAOSPEC (lihat deskripsi di Bagian A.1). Kode ini mengadopsi fungsi Gaussian jenuh agar sesuai dengan profil garis dan nilai unik untuk FWHM untuk semua garis. Nilai input FWHM diperoleh secara manual menggunakan IRAF ²³ task spot, dan membebaskan DAOSPEC untuk menyesuaikan nilai sesuai dengan residu global dari prosedur fitting. Pengukuran EWS dilakukan kembali dengan menggunakan nilai FWHM yang telah dioptimalkan sebagai nilai input baru sampai konvergensi tercapai pada tingkat 5%. EW diukur setelah renormalisasi kontinum, untuk menghilangkan tren residual yang muncul selama reduksi data.

GALA digunakan untuk menentukan parameter atmosfer dan kelimpahan unsur (lihat deskripsi GAL A di Bagian A.1). Dimulai dari tebakan awal parameter atmosfer, GALA konvergen dengan cepat ke solusi yang berarti. Akhirnya, GALA menghitung kesalahan internal yang akurat untuk setiap parameter atmosfer dan kelimpahan. Ketika set parameter awal kurang baik

diketahui atau dalam kasus ketidakpastian yang besar, blok kerja tebakan GALA digunakan. Blok kerja ini memverifikasi parameter awal dengan cepat dengan menjelajahi ruang parameter dalam grid kasar, sehingga menghemat banyak waktu. Selain itu, kesalahan dalam pengukuran EW yang diperoleh dari DAOSPEC diberikan sebagai masukan, sehingga model atmosfer terbaik dihitung dengan mempertimbangkan ketidakpastian kelimpahan masing-masing garis.

A.5. EPInArBo

Simpul EPInArBo (ESO-Padova-Indiana-Arcetri-Bologna) melakukan analisis spektral dengan kode DOOP dan FAMA (Fast Automatic Moog Analysis, Magrini et al. 2013). ²⁴Yang pertama (dijelaskan di Bagian A.1) membuatnya lebih mudah untuk

mengukur EW dalam ratusan spektrum dalam satu kelompok. Lat- ter ini merupakan otomatisasi dari kode 1D-LTE MOOG dan memungkinkan penentuan parameter bintang dan kelimpahan elemen individual.

EW diukur setelah dilakukan renormalisasi konstanta. Setiap garis diukur dengan menggunakan kecocokan Gaussian. Lebar ekuivalen antara 20-120 mÅ digunakan untuk garis Fe I dan Fe II dan antara 5-120 mÅ untuk garis elemen lainnya.

FAMA menggunakan EW dari Fe I dan Fe II untuk mendapatkan bintang (T_{eff} , log g , [Fe/H], dan α). Satu set parameter tebakan pertama dibuat dengan menggunakan data fotometri yang tersedia dan informasi masi dari pemilihan target, dengan menggunakan langkah-langkah berikut:

1. Estimasi dugaan pertama dari T_{eff} diberikan oleh hubungan Alonso dkk. (1999) dan Casagrande dkk. (2010) untuk gugus dan bintang lapangan.
2. Parameter gugus, seperti jarak, usia, dan kemerahan, yang tersedia dalam laporan yang disiapkan oleh Gaia-ESO WG 4 (pemilihan target bintang gugus, lihat Bragaglia dkk., dalam persiapan) digunakan untuk memperbaiki gravitasi permukaan.
3. Untuk bintang lapangan, informasi yang tersedia dari pemilihan target digunakan (yaitu, apakah bintang tersebut merupakan bintang katai mati atau bintang raksasa yang menonjol/dalam piringan) untuk menentukan gravitasi tebakan pertama.

Parameter bintang diperoleh dengan mencari secara iteratif tiga kesetimbangan, eksitasi, ionisasi, dan tren antara log n (Fe I) dan log (EW/ λ), yaitu dengan serangkaian langkah rekursif yang dimulai dari satu set parameter atmosfer awal dan sampai pada satu set parameter atmosfer akhir yang memenuhi tiga kondisi kesetimbangan.

Kriteria konvergensi ditetapkan dengan menggunakan informasi tentang kualitas pengukuran EW, yaitu, lereng minimum yang dapat dijangkau terkait dengan kualitas spektrum, seperti yang dinyatakan oleh dispersi σ_{FeI} di sekitar nilai rata-rata (log $n(\text{FeI})$). Hal ini benar dalam perkiraan bahwa kontribusi utama terhadap dispersi disebabkan oleh kesalahan dalam pengukuran EW dan bukan karena ketidaktepatan dalam parameter atomik, misalnya, kekuatan osilator (log gf).

A.6. IAC-AIP

Simpul IAC-AIP menggunakan kode optimasi FERRE untuk mengidentifikasi kombinasi parameter atmosfer dari model sintetik yang paling cocok dengan setiap spektrum yang diamati. FERRE mencari solusi terbaik dalam arti χ^2 menggunakan algoritma Nelder-Mead (Nelder & Mead 1965), dan evaluasi model dipercepat dengan menyimpan kisi-kisi yang telah dihitung sebelumnya di dalam memori dan

²² ARES dapat diunduh diunduh di <http://www.astro.up.pt/~sousasag/ares/>

²³ IRAF didistribusikan oleh National Optical Astronomy Observatory,

yang dioperasikan oleh Asosiasi Universitas untuk Penelitian di Astronomy (AURA) di bawah perjanjian kerja sama dengan National Science Foundation.

²⁴ FAMA tersedia di <http://cdsarc.u-strasbg.fr/viz-bin/qcat?J/A+A/558/A38>

interpolasi di dalamnya. Algoritmanya sama dengan yang dijelaskan oleh Allende Prieto dkk. (2006) untuk analisis data SDSS/SEGUE dan oleh Ahn dkk. (2014) untuk analisis spektrum SDSS/APOGEE. Interpolasi model dilakukan dengan spline Bezier kubik, akurasi telah dipelajari secara rinci oleh Mészáros & Allende Prieto (2013). Untuk setiap spektrum, lima pencarian yang dilakukan pada titik-titik yang dipilih secara acak pada ruang parameter dilakukan dan solusi terbaik dipertahankan.

Kisi-kisi spektrum model yang diadopsi bukan yang dijelaskan di Bagian 5.3. Spektrum ini dihitung menggunakan kode *Turbospectrum* (Alvarez & Plez 1998; Plez 2012) berdasarkan model MARCS di atmosfer dengan daftar garis VALD3 (Kupka dkk. 2011), dengan pemutakhiran nilai $\log g$ menurut daftar garis *Gaia-ESO* versi 3.0. Rentang parameter yang tercakup dalam grid tersebut adalah: $T_{\text{eff}} = 3000\text{--}7000$ K, $\log g = 0.0\text{--}5.0$, $[\text{Fe}/\text{H}] = -2.5\text{--}+1.0$, $v \sin i = 1\text{--}128$ km s⁻¹, $(\alpha = 0, 0.5\text{--}4$ km s⁻¹, dan $[\alpha/\text{Fe}] = -0.4\text{--}+0.4$. The Spektrum model dihaluskan dengan konvolusi Gaussian hingga mencapai ketelitian pengamatan ($R = 47,000$). Untuk mempercepat analisis, $[\alpha/\text{Fe}]$ dikaitkan dengan metalikitas keseluruhan dari setiap bintang, yaitu dengan rasio $[\alpha/\text{Fe}]$ yang ditingkatkan metalikitas rendah, sementara (α) dikaitkan dengan T_{eff} dan $\log g$ sesuai dengan hubungan turbulensi mikro *Gaia-ESO* untuk analisis iDR1.

Kami menggunakan semua orde UVES sebelum digabungkan, dengan mengecualikan daerah yang memiliki banyak garis tellurik dan inti garis H α . Kontinum untuk pengamatan dan model ditetapkan dengan memotong spektrum menjadi potongan-potongan selebar 2 Å, membagi setiap potongan dengan nilai rata-ratanya, dan semua spektrum diberi bobot berdasarkan variansnya. Semua pengamatan digeser ke panjang gelombang istirahat. Jika hanya satu nilai v_{rad} yang tersedia di header, nilai ini yang digunakan. Jika ada dua nilai (satu untuk setiap CCD), nilai rata-rata digunakan. Jika tidak ada lokasi yang tersedia, korelasi silang menggunakan bintang templat panas ($T_{\text{eff}} = 7000$ K, $\log g = 2$) yang diputar hingga 50 km s⁻¹ digunakan untuk kecepatan radial. Jika gagal, nilai 0,0 km s⁻¹ digunakan.

A.7. Liège

Liège Node melakukan analisis dengan menggunakan alat GAUFRE (Valentini et al. 2013). GAUFRE adalah kode C++ yang melakukan penentuan parameter atmosfer dan kelimpahan secara otomatis. Alat ini terdiri dari beberapa subprogram dengan tugas-tugas tertentu (lihat Valentini et al. 2013, untuk rinciannya). Untuk spektrum UVES Survei *Gaia-ESO*, digunakan GAUFRE-EW. Subprogram ini menentukan T_{eff} , $\log g$, $[\text{M}/\text{H}]$, dan (α) dengan cara iteratif menggunakan EW dari garis-garis Fe.

Titik awal adalah normalisasi spektrum dan pengukuran EW dari setiap garis yang ada dalam daftar garis input (ketika terdeteksi). Program memilih rentang spektral 3–4 Å sekitar pusat garis dan spektrum kemudian dipasang fungsi polinomial untuk menentukan kontinum dan posisi garis. Pada tahap ini beberapa parameter, seperti tingkat fungsi dan amplitudo rentang spektral yang sesuai, dapat ditentukan oleh pengguna.

Program ini kemudian memberi masukan kepada MOOG dengan EW yang terukur dan model atmosfer MARCS yang sesuai. Di dalam kesalahan, hasil MOOG harus memenuhi empat kondisi: memenuhi kesetimbangan ionisasi dan eksitasi Fe, tidak menunjukkan ketergantungan antara kelimpahan Fe dan $\log (EW/\lambda)$, dan, terakhir, menghasilkan rata-rata metalitas yang identik dengan model atmosfer yang digunakan.

Suasana model MARCS yang sesuai diturunkan dengan interpolating dalam jaringan MARCS.

Program melakukan iterasi sampai keempat kondisi tersebut terpenuhi. Metode Simpleks Bada Nyata (Nelder & Mead 1965; Press et al. 2002) diadopsi untuk memperkirakan serangkaian parameter atmosfer yang baru pada setiap iterasi. Titik awal proses dapat ditentukan oleh pengguna. Suhu fotometrik menggunakan Ramírez & Meléndez (2005) dan, jika tersedia, $\log g$ dari asteroseismologi diadopsi. Jika tidak ada informasi dari fotometri atau asteroseismologi yang tersedia, titik awal ditetapkan ke $T_{\text{eff}} = 5000$ K, $\log g = 4.0$ dex, $[\text{M}/\text{H}] = 0.0$ dex, dan $(\alpha = 1.0$ km s⁻¹).

Ketidakpastian dalam T_{eff} berasal dari deviasi standar dari kecocokan kuadrat terkecil dari kelimpahan Fe I vs potensial eksitasi. Ketidakpastian dalam $\log g$ ditentukan dengan menyebarkan ketidakpastian dalam T_{eff} . Ketidakpastian dalam (α) dihitung berdasarkan deviasi standar dari kecocokan kuadrat terkecil dari kelimpahan Fe I vs $\log (EW/\lambda)$. Ketidakpastian dalam $[\text{Fe}/\text{H}]$ memperhitungkan ketidakpastian dalam T_{eff} , $\log g$, (α) , dan sebaran garis-garis dari kelimpahan Fe I.

A.8. LUMBA

Simpul LUMBA (Lund-Uppsala-MPA-Bordeaux-ANU) menggunakan parameter bintang dan pipa kelimpahan (selanjutnya disebut SGU) yang didasarkan pada program sintesis spektrum SME (Spectroscopy Made Easy) (Valenti & Piskunov 1996)⁽²⁵⁾. SME adalah rangkaian rutin IDL dan C++ yang dikembangkan untuk menghitung spektrum optik dan melakukan pencocokan χ^2 terhadap spektrum yang diamati. Kode ini mengasumsikan LTE dan geometri paralel bidang. Kesetimbangan kimiawi untuk molekul ditentukan seperti yang dijelaskan dalam Valenti dkk. (1998).

Penjelasan rinci tentang pipa SGU akan dipublikasikan di tempat lain (Bergemann et al. 2014c, dalam persiapan). Secara singkat, dalam pipa SGU, spektrum sintetis dihitung dalam segmen panjang gelombang yang telah ditentukan sebelumnya, yang memiliki lebar 5 hingga 20 Å. Daftar garis yang dipilih adalah versi yang diperkecil dari daftar garis *Gaia-ESO* versi 3.0 dan mencakup campuran atom dan molekul yang relevan untuk analisis bintang-bintang tipe FGKM. Parameter dasar bintang ditentukan secara iteratif, mengeksplorasi seluruh ruang parameter dalam T_{eff} , $\log g$, $[\text{Fe}/\text{H}]$, turbulensi mikro dan makro. Jumlah iterasi bervariasi, tergantung pada parameter bintang, nilai uji kecocokan (χ^2), dan konvergensi. Tujuan utama dari SGU adalah untuk mengontrol urutan langkah yang menentukan parameter yang akan diselesaikan dalam iterasi saat ini, dan menentukan daerah panjang gelombang yang akan disertakan dalam statistik uji. Biasanya, tiga hingga empat langkah untuk katai dan sub-raksasa, dan dua langkah untuk raksasa digunakan. Daerah panjang gelombang (disebut sebagai "masker") akan dimasukkan dalam pencocokan χ^2 juga bervariasi, tergantung pada langkahnya. Masker mencakup garis H I (H β dan H α), triplet Mg I pada 5170, dan a serangkaian garis Fe yang dipilih dengan cermat. Secara , sekitar 60 diagnostik

Transisi Fe I dan Fe II digunakan. Spektrum *Gaia-ESO* yang tidak dinormalisasi digunakan dengan normalisasi kontinum runtime. Untuk analisis kelimpahan, masker khusus dikembangkan, yang menutupi garis-garis elemen yang dipilih. Untuk iDR1, parameter atmosfer dihitung dengan mengasumsikan LTE. Untuk iDR2, pipeline dimodifikasi untuk menyertakan koreksi NLTE pada Fe (Bergemann et al., dalam persiapan). Hal ini menghasilkan peningkatan parameter bintang (terutama $\log g$) untuk bintang-bintang dengan metalitas rendah. Selain itu, efeknya juga cukup kecil untuk bintang-bintang yang lebih kaya logam. Kelimpahan ditentukan pada langkah terakhir dengan menggunakan parameter bintang dari perhitungan sebelumnya.

Kesalahan pada parameter bintang lainnya diestimasi dari kesalahan SME internal berdasarkan S/N dan sebaran garis-ke-garis Fe (tetapi dalam

²⁵

<http://www.stsci.edu/~valenti/sme.html>

Dalam banyak kasus, garis-garis elemen yang berbeda digunakan untuk memperoleh parameter stelstel, termasuk H dan Mg), digabungkan dengan penyebaran perbedaan antara hasil kami untuk pustaka bintang patokan dan nilai-nilai yang dianggap dapat diterima.

A.9. Bagus.

Analisis Nice Node didasarkan pada pipeline parametrisasi bintang otomatis yang dikembangkan untuk Proyek AMBRE (Worley et al. 2012). Inti dari pipeline ini adalah algoritma parametrisasi bintang MATISSE (MATrix Inversion for Spectrum Synthesis), yang dikembangkan di Observatoire de la Côte d'Azur, terutama untuk digunakan pada pipeline parametrisasi bintang *Gaia* RVS (Radial Velocity Spectrometer) (Recio-Blanco dkk. 2006), dan sintetik *Gaia*-ESO kisi-kisi spektrum (lihat Bab 5.3).

MATISSE adalah metode regresi multilinear lokal yang secara simultan menentukan parameter bintang (θ) dari spektrum yang dilayani $O(\lambda)$ melalui proyeksi spektrum pada fungsi vektor $B_\theta(\lambda)$. Fungsi $B_\theta(\lambda)$ dikonstruksi sebagai kombinasi linier optimal dari spektrum sintetik lokal $S(\lambda)$. Parameter bintang yang ditentukan oleh Simpul Nice adalah T_{eff} , $\log g$ metalitas global $[M/H]$, dan kelimpahan unsur α global di atas besi ($[\alpha/Fe]$: $\alpha = O, Ne, Mg, Si, S, Ar, Ca, \text{ dan } Ti$).

Untuk meminimalisir dampak ketidakcocokan antara spektrum yang diamati dan sintetik, spektrum fluks matahari (Wallace dkk. 1998.) dan spektrum Arcturus (Hinkle dkk. 2000) dibandingkan dengan spektrum sintetik Gaia-ESO yang sesuai dalam rentang spektrum UVES. Sekitar 24% dari domain UVES dibuang karena kontaminasi tellurik/instrumental. Sebanyak 4% lainnya dibuang karena perbedaan antara fluks teramati dan fluks sintetik yang dinormalisasi lebih besar dari 10% untuk Matahari atau 20% untuk Arcturus. Batasan ini secara kasar menolak fitur spektral yang tidak sesuai (garis-garis yang tidak sesuai atau daerah yang tidak cocok) antara spektrum yang diamati dan spektrum sintetik. Perbandingan yang dihasilkan sebelum optimasi normalisasi menunjukkan bahwa 95% (atau 80%) piksel memiliki perbedaan kurang dari 5% antara Matahari (atau Arcturus) dan spektrum sintetik yang sesuai, sementara 94% piksel memiliki perbedaan fluks kurang dari 10% untuk Arcturus. Karena MATISSE menggunakan semua piksel yang tersedia untuk penentuan parameter, beberapa piksel yang tidak sesuai yang tersisa setelah normalisasi iteratif penuh tidak banyak berpengaruh pada hasilnya.

Domain panjang gelombang akhir berjumlah 1447 Å antara 4790 dan 6790 Å dengan 18.080 piksel pada pengambilan sampel 0,08 Å/px. Spektrum sintetik digabungkan dengan kernel Gaussian ($FWHM = 0,2254$ Å) untuk rentang resolusi dari $R \sim 21.000$ (4790 Å) hingga $R \sim 30.000$ (6790 Å). Spektrum yang diamati dikonversi ke resolusi yang sama dengan menggunakan FWHM transformasi berdasarkan FWHM spektral terukur dan FWHM kisi.

Pipeline Nice terdiri dari pemrosesan spektral (koreksi v_{rad} ; pembersihan/pengirisan/konvolusi; normalisasi spektrum sintetik), dan penentuan parameter bintang dengan MATISSE (tahap SPC pada Gambar 4 Worley et al. 2012). Pada setiap iterasi dari dua tahap terakhir, estimasi parameter bintang yang lebih baik akan menghasilkan spektrum sintetik baru untuk digunakan dalam normalisasi hingga terjadi konvergensi pada parameter bintang akhir.

Kalibrasi dan validasi dilakukan dengan menggunakan tiga sampel utama: Gaia-ESO Benchmarks (lihat Bab 7.1); pustaka spektral Jofré dkk. (2014); dan set data AMBRE:UVES#580 PASTEL (Worley dkk., dalam persiapan), sebuah sampel dari 2273 spektrum celah yang memiliki parameter bintang spektroskopi berkualitas tinggi seperti yang disebutkan di katalog PASTEL. Ketiga sampel ini digunakan untuk mengkalibrasi konvolusi dan normalisasi dalam

pemrosesan spektral dengan membandingkan spektrum yang diproses dengan spektrum sintetik dan dengan membandingkan parameter MATISSE dengan parameter yang diterima untuk setiap sampel.

A.10. Paris-Heidelberg

Simpul Paris-Heidelberg menggunakan penentuan parameter otomatis dan kode analisis kelimpahan MyGisFOS (Sbordone et al. 2014). MyGisFOS secara ketat mereplikasi yang "metode penentuan parameter dan analisis kelimpahan tradisional" atau "manual" dengan cara yang sepenuhnya otomatis. Untuk melakukannya, MyGisFOS menentukan EW dan kelimpahan untuk sejumlah fitur Fe I dan Fe II, dan mencari parameter atmosfer (T_{eff} , $\log g$, (α/Fe)) yang memenuhi keseimbangan eksitasi dan ionisasi, dan yang meminimalkan tren kelimpahan dengan EW. MyGisFOS menggunakan metode pra

kisi-kisi yang dihitung dari spektrum sintetik alih-alih mengandalkan sintesis on-the-fly atau pada pengukuran EW apriori. Dengan menyesuaikan spektrum sintetik, MyGisFOS dapat menggunakan fitur yang cukup tercampur dalam pengukuran kelimpahan, atau memperlakukan secara langsung garis yang terkena dampak HFS. Berikut ini adalah ringkasan cara kerja MyGisFOS:

1. Kisi-kisi spektrum sintetik yang bervariasi (dalam kasus yang paling umum) dalam T_{eff} , $\log g$, $([Fe/H])$, dan $[\alpha/Fe]$ disediakan untuk kode yang akan digunakan bersama spektrum masukan (yang mana parameter tebakan awal harus disediakan), dan satu set "wilayah" spektral yang akan digunakan baik sebagai rentang pseudokontinum (untuk normalisasi) atau sebagai fitur spektral dari berbagai jenis (mis., garis Fe I).
2. Spektrum yang diamati, dan setiap spektrum dalam sintetik grid, dinormalisasi semu menggunakan interval kontinum, kemudian grid sintetik diciutkan (dengan interpolasi) pada nilai tebakan awal untuk T_{eff} , $\log g$, (α/Fe) , sehingga menyisakan grid dengan dimensi tunggal $[Fe/H]$.
3. Garis Fe I dan Fe II yang disediakan dicocokkan (dengan χ^2 - minimisasi) terhadap grid yang diciutkan, sehingga diperoleh kelimpahan Fe I yang paling sesuai untuk setiap garis. EW juga diukur dalam proses tersebut. Dalam serangkaian loop bersarang, proses diagnostik yang disebutkan di atas (keseimbangan eksitasi dan ionisasi, dll.) dievaluasi, dan jika diperlukan, parameter bintang diubah, dan seluruh proses diulang, sampai konvergensi tercapai.
4. Untuk mengukur kelimpahan unsur-unsur lain, masing-masing unsur dicocokkan dengan kisi yang sama, dicocokkan pada nilai akhir T_{eff} , $\log g$, (α/Fe) , dan dengan demikian bervariasi dalam $[Fe/H]$. Nilai metalitas yang paling sesuai digunakan sebagai elemen $[X/H]$ (ini pada prinsipnya tidak konsisten tetapi menghasilkan secara umum nilai yang akurat, lihat Sbordone dkk. 2014). Kasus khusus adalah unsur α , yang diukur pertama kali setelah T_{eff} , $\log g$, dan (α/Fe) ditetapkan, dan digunakan untuk mengestimasi parameter kisi terakhir, $[\alpha/Fe]$. Nilai yang diperoleh dari $[\alpha/Fe]$, jika cukup berbeda dari estimasi, akan memicu estimasi baru untuk parameter lainnya. Terakhir, semua elemen lainnya diukur.

Setelah diproses, output diperiksa untuk mengetahui adanya masalah: objek yang tidak konvergen diperiksa satu per satu dan akhirnya dijalankan ulang. MyGisFOS tidak mengestimasi atau memvariasikan pelebaran spektrum: grid yang disediakan diperlebar pada resolusi nominal $R = 47.000$. Bintang-bintang yang menunjukkan pelebaran ekstra (pada dasarnya adalah obyek yang berotasi secara periodik) dideteksi dengan memeriksa kualitas kecocokan garis, dan diproses ulang dengan pelebaran yang sesuai.

Untuk GESviDR1Final, T_{eff} tidak diiterasi di dalam MyGisFOS, karena hal ini belum diimplementasikan. Sebagai gantinya, T_{eff} ditentukan dari fotometri yang tersedia dengan menggunakan hubungan González Hernández & Bonifacio (2009). Iterasi T_{eff} penuh saat ini sudah tersedia dan digunakan dalam analisis iDR2. Selain itu, MyGisFOS menggunakan grid Gaia-ESO

spektrum sintetis yang tidak menyertakan dimensi λ , tetapi bergantung pada satu nilai λ yang telah dikalibrasi sebelumnya yang bergantung pada T_{eff} , $\log g$, dan $[\text{Fe}/\text{H}]$. Dengan demikian, MyGisFOS tidak menentukan λ untuk data Gaia-ESO. Di masa depan, ketika grid baru spektrum sintetis dengan dimensi λ tersedia, kuantitas ini juga akan ditentukan.

A.11. UCM

UCM Node menggunakan kode otomatis StePar (Tabernero et al. 2012) untuk menentukan atmosfer bintang parameter (T_{eff} , $\log g$, $[\text{Fe}/\text{H}]$, dan metalitas. StePar menghitung parameter atmosfer bintang dengan menggunakan MOOG (v.2002). Meskipun dirancang untuk menggunakan kisi-kisi model atmosfer bidang-paralel Kurucz (Kurucz 1993) ATLAS9, StePar kini telah dimodifikasi untuk beroperasi dengan model MARCS sferis dan nonsferis.

Parameter atmosfer disimpulkan dari daftar garis Fe I-Fe II yang telah dipilih sebelumnya. Kode ini melakukan iterasi hingga mencapai kesetimbangan eksitasi dan ionisasi dan meminimalkan tren kelimpahan dengan $\log (EW/\lambda)$. StePar menggunakan Metode Simpleks Turun (λ) (Press et al. 1992). Downhill Simplex Method Fungsi yang diminimalkan adalah bentuk kuadratik yang terdiri dari kondisi kesetimbangan eksitasi dan ionisasi. Kode ini melakukan operasi simpleks baru.

timisasi hingga metalikitas model dan besi yang menari-nari sama.

Ketidakpastian untuk parameter bintang diperoleh seperti yang dituliskan dalam Tabernero dkk. (2012). Selain itu, dilakukan pula penolakan 3σ terhadap garis Fe I dan Fe II setelah penentuan parameter bintang. StePar kemudian dijalankan kembali tanpa garis-garis yang ditolak.

Penentuan EW dari semua garis dilakukan dengan kode ARES. Pendekatan Sousa dkk. (2008) untuk menyesuaikan parameter ARES sesuai dengan S/N dari masing-masing spektrum diikuti. Mengenai kelimpahan individu, dua daftar garis disiapkan: satu untuk katai ($\log g \geq 4.0$) dan satu untuk raksasa ($\log g \leq 4.0$). Untuk mendapatkan kelimpahan individu, EW dimasukkan ke MOOG dan kemudian dilakukan pemotongan 3σ untuk setiap unsur kimia.

A.12. ULB

Node ULB menggunakan kode BACCHUS (Brussels Automatic Code for Characterizing High accuracy Spectra), yang terdiri dari tiga modul berbeda yang dirancang untuk memperoleh EW, parameter bintang, dan kelimpahan. Versi saat ini bergantung pada

(i) kisi-kisi model atmosfer MARCS; (ii) prosedur khusus untuk melakukan interpolasi di antara struktur termodinamika atmosfer model di dalam kisi-kisi tersebut (Masseron 2006); dan (iii) kode transfer radiasi Turbospectrum.

Penentuan parameter bintang bergantung pada daftar garis Fe yang dipilih. Langkah pertama adalah menentukan kelimpahan yang akurat untuk garis-garis yang dipilih dengan menggunakan modul kelimpahan untuk seperangkat nilai T_{eff} dan $\log g$ yang diberikan. Modul penentuan kelimpahan dilakukan dengan cara sebagai berikut: (i) sintesis spektrum, dengan menggunakan set lengkap garis-garis (atomik dan molekuler), digunakan untuk menemukan tingkat kontinum lokal (mengoreksi kemungkinan kemiringan); (ii) penolakan kosmik dan tellurik dilakukan; (iii) S/N lokal diperkirakan; dan (iv) serangkaian titik fluks yang berhubungan dengan garis serapan tertentu dipilih. Kelimpahan kemudian diperoleh dengan membandingkan spektrum yang diamati dengan satu set spektrum sintetis yang dikarakterisasi oleh kelimpahan yang berbeda. Empat diagnostik yang berbeda digunakan: χ^2 fitting, perbandingan intensitas garis inti, estimasi kecocokan global, dan EW

perbandingan. Pohon keputusan kemudian menolak garis tersebut, atau menerima garis tersebut dan menyimpan kelimpahan yang paling cocok.

Langkah kedua adalah menyimpulkan EW dari garis-garis Fe dengan menggunakan modul kedua. Salah satu aset dari kode ini adalah penghitungan EW dari spektrum sintetis yang paling cocok, karena hanya EW dari garis yang dipertimbangkan yang diperhitungkan (tidak termasuk kontribusi dari garis-garis yang berdekatan dan bercampur). Memang, EW dihitung tidak secara langsung pada spektrum yang diamati, tetapi secara internal dari spektrum sintetis dengan kelimpahan yang paling cocok. Dengan cara ini, informasi kontribusi garis-garis pencampur dapat diketahui, sehingga memungkinkan penghitungan EW yang bersih dari garis yang diminati.

Langkah terakhir dari prosedur ini terdiri dari memasukkan EW yang telah dihilangkan ke dalam Turbospectrum untuk menghitung kelimpahan untuk kisi-kisi 27 model atmosfer tetangga (termasuk tiga nilai suhu efektif, tiga nilai gravitasi, dan tiga nilai kecepatan turbulensi mikro), yang mencakup ruang parameter yang diminati. Untuk setiap model, kode ini menghitung kemiringan kelimpahan terhadap potensial eksitasi dan terhadap EW, serta kelimpahan garis Fe I dan Fe II.

Parameter akhir ditentukan dengan meminta agar kesetimbangan ionisasi terpenuhi, dan secara simultan diperoleh kemiringan nol untuk kelimpahan terhadap potensial eksitasi dan terhadap EW. Seluruh prosedur ini diulang satu kali untuk setiap bintang, setelah tebakan pertama dari parameter bintang disempurnakan dan model bibit yang baru dihitung.

A.13. Vilnius

Simpul Vilnius menggunakan metode tradisional berbasis EW untuk penentuan parameter bintang. Temperatur efektif ditentukan dengan meminimalkan kemiringan kelimpahan yang diperoleh dari garis Fe I terhadap potensial eksitasi. Gravitasi permukaan

itu ditentukan dengan memaksa garis Fe I dan Fe II yang diukur untuk menghasilkan nilai $[\text{Fe}/\text{H}]$ yang sama. Mikroturbulensi ditentukan dengan memaksa kelimpahan Fe I untuk tidak bergantung pada EW garis. Perangkat lunak pembungkus khusus dikembangkan untuk memastikan EW, dan menghitung parameter atmosfer utama dan kelimpahan secara otomatis.

Lebar ekuivalen diukur dengan menggunakan perangkat lunak DAOSPEC. Data atom dan molekul yang disediakan oleh kelompok daftar garis Gaia-ESO digunakan. Hanya garis-garis yang sesuai dengan kriteria kualitas terbaik (bendera yang disediakan bersama daftar garis) yang digunakan. Sub-sampel garis yang berbeda digunakan untuk bintang raksasa dan bintang miskin logam.

Parameter atmosfer bintang dihitung dengan menggunakan MOOG (v.2010) dan model atmosfer MARCS. Kode interpolasi yang disediakan dengan kisi-kisi MARCS dimodifikasi untuk memungkinkan pemilihan otomatis set model yang diperlukan dan ekstraksi model interpolasi akhir dalam format WEBMARCS untuk MOOG.

Kode pembungkus melakukan urutan perhitungan kelimpahan yang berulang-ulang dengan menggunakan minimalisasi kuadratik simultan dari: (i) ketergantungan kelimpahan pada potensi eksitasi garis; (ii) perbedaan antara kelimpahan besi netral dan terionisasi; dan (iii) sebaran kelimpahan besi netral. Iterasi dilakukan pada setiap langkah sampai solusi yang stabil tercapai. Prosedur minimalisasi didasarkan pada metode Nelder-Mead (Nelder & Mead 1965). Selama prosedur iteratif ini, kode mencari kemungkinan pencilaan dalam kelimpahan yang ditentukan dengan menggunakan garis yang berbeda. Setiap kelimpahan yang dihasilkan untuk setiap garis yang menyimpang dari rata-rata lebih dari 2σ ditandai sebagai pencilaan dan dihilangkan dari perhitungan lebih lanjut.

Tabel B.1. Jumlah bintang tipe FGK yang diamati dengan UVES dan bagian dari set data iDR1.

Tipe Gaia-ESO	Bintang	Komentar
Total	508	Hanya Gaia-ESO, tidak ada data arsip.
GES_MW	305	Bintang-bintang dari medan Bima Sakti.
GES_CL	133	Bintang-bintang dari medan gugus terbuka.
GES_SD	70	Target kalibrasi.

Titik awal dipilih secara acak pada vianitas $T_{\text{eff}} = 5500 \text{ K}$, $\log g = 4.0$, $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.5$ dan $(=1.5 \text{ km s}^{-1})$. Nilai akhir parameter atmosfer untuk bintang tertentu tidak bergantung pada titik awal perhitungan. Kelimpahan akhir dari semua elemen lainnya diperoleh dengan menghilangkan kemungkinan adanya outlier dengan menggunakan kriteria 2σ .

Ketidaktastian parameter bintang ditentukan dengan menggunakan estimasi galat dari pencocokan profil garis dan simpangan baku kelimpahan. Ketidaktastian untuk temperatur efektif diestimasi dengan mendapatkan nilai temperatur batas dari ruang parameter yang mungkin memuaskan, dengan menggunakan galat dari kecocokan regresi linier. Ketidaktastian gravitasi dan Ketidaktastian diperoleh dengan menggunakan nilai batas yang mungkin dari $\log g$, dengan menggunakan deviasi standar kelimpahan dari garis Fe I dan Fe II. Ketidaktastian kecepatan mikroturbulensi diperoleh dengan menggunakan kesalahan simpangan baku kelimpahan besi netral. Simpangan baku $[\text{Fe}/\text{H}]$ adalah diadopsi sebagai ketidaktastian metalitas.

Lampiran B: Analisis verifikasi sains

Analisis verifikasi sains merupakan siklus analisis penuh pertama dari Survei ini. Beberapa makalah pertama yang menggunakan data Gaia-ESO didasarkan pada hasil analisis pertama ini (misalnya, Bergemann dkk. 2014; Cantat-Gaudin dkk. 2014b; Donati dkk. 2014; Friel dkk. 2014; Magrini dkk. 2014; Spina dkk. 2014). Oleh karena itu, kami percaya bahwa penting untuk mendokumentasikan rincian, pencapaian, dan kekurangan dari analisis ini. Kami mendokumentasikan secara khusus perbedaan antara analisis ini dan analisis iDR2, yang dijelaskan dalam teks utama. Data yang dianalisis merupakan bagian dari rilis data internal pertama (iDR1), yang dijelaskan di bawah ini:

- *Rilis Data Internal 1 (iDR1)*: rilis data ini terdiri dari spektrum yang diperoleh hingga akhir Juni 2012 dan spektrum gabungan dari 576 bintang tipe FGK yang diamati dengan UVES. Dari jumlah tersebut, 68 di antaranya merupakan bagian dari gugus terbuka muda (usia $<100 \text{ Myr}$). Data tersebut tidak dianalisis oleh WG11 melainkan oleh kelompok kerja yang bertanggung jawab atas bintang-bintang prurutan utama (Lanzafame dkk. 2014). Untuk saat ini, hasilnya telah dirilis hanya secara internal untuk kolaborasi Gaia-ESO dan disebut sebagai *GESviDR1Final* (Gaia-ESO Survey verifikasi data internal rilis satu). Kami menunjukkan bahwa spektrum yang direduksi untuk sebagian bintang yang diamati dalam enam bulan pertama sudah tersedia di arsip data ESO⁽²⁶⁾.

Distribusi S/N dari data iDR1 ditunjukkan pada Gambar B.1. Tabel B.1 merangkum jumlah bintang yang menjadi bagian dari iDR1. Gambar B.2 menunjukkan bagaimana bintang-bintang yang menjadi target pengamatan Gaia-ESO selama enam bulan pertama terdistribusi pada bidang $T_{\text{eff}} - \log g$. Parameter atmosfer ditentukan untuk 421 bintang dari 508 bintang yang menjadi sampel. Untuk bintang-bintang lainnya, analisis gagal dilakukan.

untuk berbagai alasan (S/N rendah, rotasi cepat, artefak reduksi, dll.). Bendera akan disediakan yang menunjukkan alasan kegagalan.

Pada bagian selanjutnya, kami akan membahas secara terpisah produk data yang ditentukan dalam analisis data iDR1, yaitu EW (Lampiran B.1), parameter atmosfer bintang (Lampiran B.2), dan kelimpahan unsur (Lampiran B.3). Perbedaan antara analisis ini dan analisis iDR2 akan disoroti.

B.1. EW di iDR1

Node yang menentukan EW untuk set data iDR1 adalah: Bologna, CAUP, Concepcion, EPInArBo, UCM, ULB, dan Vilnius. Tiga kode digunakan untuk mengukur EW secara otomatis: ARES, BACCHUS (T. Masseron, belum dipublikasikan, lihat Subbab A.12), dan DAOSPEC. Dari semua kode ini, BACCHUS tidak dimasukkan dalam diskusi iDR2.

Di sini kami menyertakan gambar yang serupa dengan yang dibahas dalam teks utama tentang iDR2. Perbandingan antara plot-plot ini dapat menunjukkan evolusi pengukuran antara satu iDR dan iDR berikutnya.

Gambar B.3 menunjukkan perbandingan antara EW garis-garis Fe I yang diukur oleh kelompok-kelompok yang berbeda pada dua bintang yang dibahas pada Bab 6 (katai miskin logam HD 22879 dengan $S/N \sim 260$ dan bintang raksasa Trumpler 20 MG 781 yang kaya akan logam dengan $S/N \sim 50$).

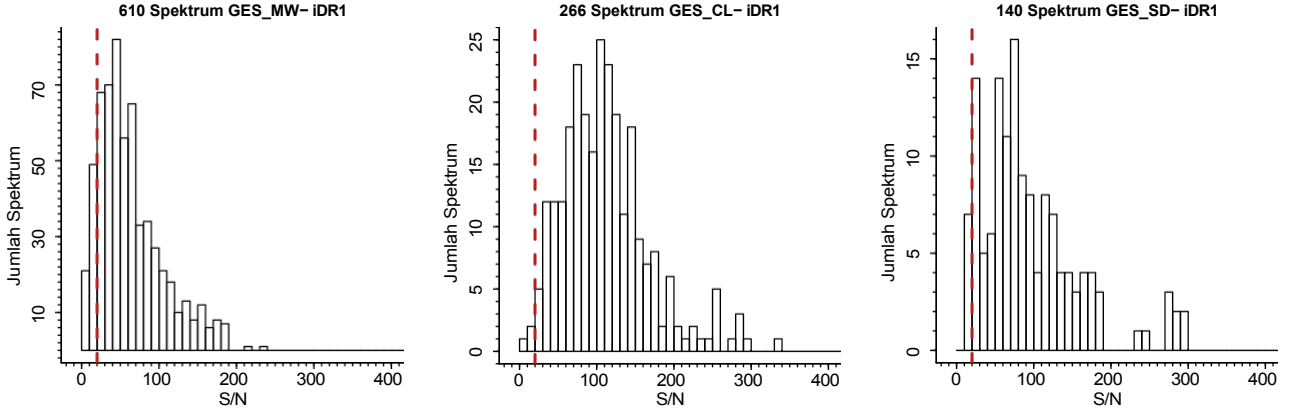
EW yang diukur dengan kode yang sama oleh Node yang berbeda (plot kiri dan tengah-kiri pada Gambar B.3) cenderung setuju dalam 2σ , meskipun ada perbedaan sistematis dalam beberapa kasus. Ketika membandingkan EW yang diukur dengan ARES dan DAOSPEC (plot tengah-kanan pada Gbr. B.3), terlihat bahwa sebarannya meningkat. Seperti yang telah dibahas sebelumnya, hal ini mungkin terkait dengan perbedaan cara pendefinisian kontinum pada masing-masing kode (kontinum global vs kontinum lokal untuk DAOSPEC dan ARES).

Perbandingan antara BACCHUS dan dua kode lainnya (plot kanan pada Gambar B.3) menunjukkan perbedaan sistematis yang sedang diselidiki. BACCHUS mengukur EW bukan dari spektrum yang diamati, tetapi dari spektrum sintetis yang paling sesuai setelah kelimpahan dan parameter ditetapkan. BACCHUS menghilangkan kontribusi dari setiap fitur pencampuran yang diketahui yang termasuk dalam daftar garis. Garis sintetis dihitung dalam 1D LTE, menggunakan semua informasi garis yang mungkin: pelebaran garis, HFS, dan campuran. Dalam hal ini, BACCHUS EW seharusnya merupakan pengukuran yang lebih kuat (dengan asumsi bahwa parameter atmosfer diketahui dengan sempurna dan campuran disintesis dengan sempurna). Penempatan kontinum mungkin merupakan sumber kesalahan lainnya. BACCHUS mencocokkan kontinum mengandalkan spektrum sintetis, dari bintang ke bintang, dan dari daerah panjang gelombang ke daerah panjang gelombang. Namun, jika kecocokan kontinum buruk di sekitar garis yang diukur, maka kontinum tersebut bisa saja salah, begitu pula dengan kelimpahan akhir dan EW. Masalahnya sangat kompleks dan kami sedang menyelidiki penyebab perbedaan dan memperbaiki pengukuran untuk rilis di masa depan.

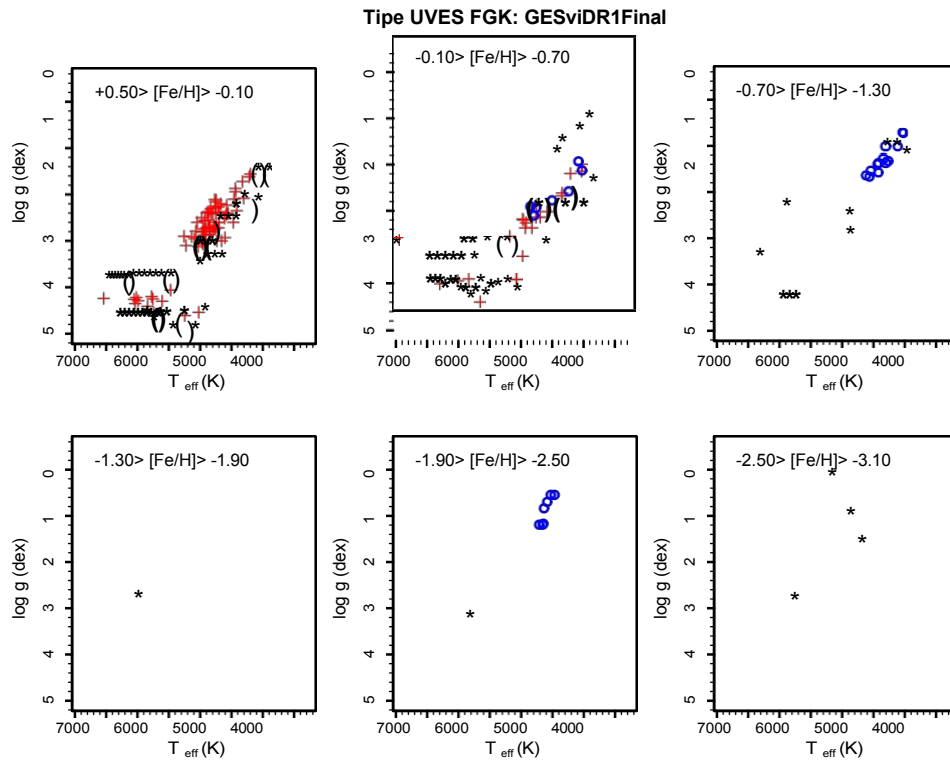
Gambar B.4 menggambarkan perilaku σ_{EW} yang diukur dalam GESviDR1Final. Untuk setiap garis Fe I dari sebuah bintang, nilai rata-rata EW dihitung, bersama dengan simpangan bakunya. Untuk setiap bintang, kami mendefinisikan σ_{EW} sebagai rata-rata dari semua deviasi standar garis-garis Fe I pada bintang tersebut. Untuk sebagian besar bintang, simpangan bakunya kecil ($< 3 \text{ mÅ}$), dengan beberapa kasus yang mencapai hingga $\sim 20 \text{ mÅ}$. Gambar B.4 menunjukkan bahwa untuk sebagian besar bintang, beberapa pengukuran EW cenderung sesuai dengan ketidaktastian statistik yang diharapkan yang diberikan oleh S/N spektrum.

Pada Gambar B.5, σ_{EW} diplot terhadap parameter atmosfer, T_{eff} , $\log g$, dan $[\text{Fe}/\text{H}]$. Sebagian besar bintang-bintang di mana

²⁶ http://archive.eso.org/wdb/wdb/adp/phase3_spectral/form?phase3_collection=GaiaESO



Gambar B.1. Distribusi median S/N dari spektrum di iDR1 (508 bintang tipe FGK) yang diamati dengan UVES. Masing-masing dua bagian spektrum UVES (dari setiap CCD) dihitung secara terpisah (dengan demikian, dua spektrum per bintang). Garis putus-putus merah menunjukkan $S/N = 20$. Sampel lingkungan matahari (GES_MW), gugus terbuka (GES_CL), dan target kalibrasi (GES_SD) ditampilkan secara terpisah.



Gambar B.2. Distribusi 421 bintang tipe FGK dari GESviDR1Final dalam bidang $T_{\text{eff}} - \log g$. Bintang-bintang tersebut diamati dengan UVES selama enam bulan pertama survei dan parameter atmosfernya ditentukan seperti yang dijelaskan dalam makalah ini. Panel-panel tersebut dibagi berdasarkan metalitasnya. Bintang hitam mewakili bintang-bintang medan, bintang-bintang silang merah diamati pada medan gugus terbuka, dan bintang-bintang lingkaran biru diamati pada medan gugus bola.

$\overline{\sigma_{\text{EW}}} > 10 \text{ mÅ}$ cenderung merupakan bintang-bintang subgugur atau katai yang hangat dan kaya akan logam. Banyak dari bintang-bintang ini yang memperlihatkan rotasi yang signifikan (Gbr. B.6).

Hasil ULB untuk EW (menggunakan kode BACCHUS), dan terakhir untuk parameter atmosfer dan kelimpahan untuk iDR2, tidak digunakan untuk menghitung nilai rekomendasi akhir yang akan dirilis, karena Node menarik hasilnya.

B.2. Parameter atmosfer dalam iDR1

B.2.1. Bintang tolak ukur

Untuk analisis iDR1, hanya delapan bintang acuan yang tersedia²⁷ dan tidak mencakup ruang parameter seperti halnya 21 bintang yang digunakan dalam iDR2. Keakuratan hasil Node dinilai dengan mengevaluasi apakah Node dapat mereproduksi T_{eff} dan

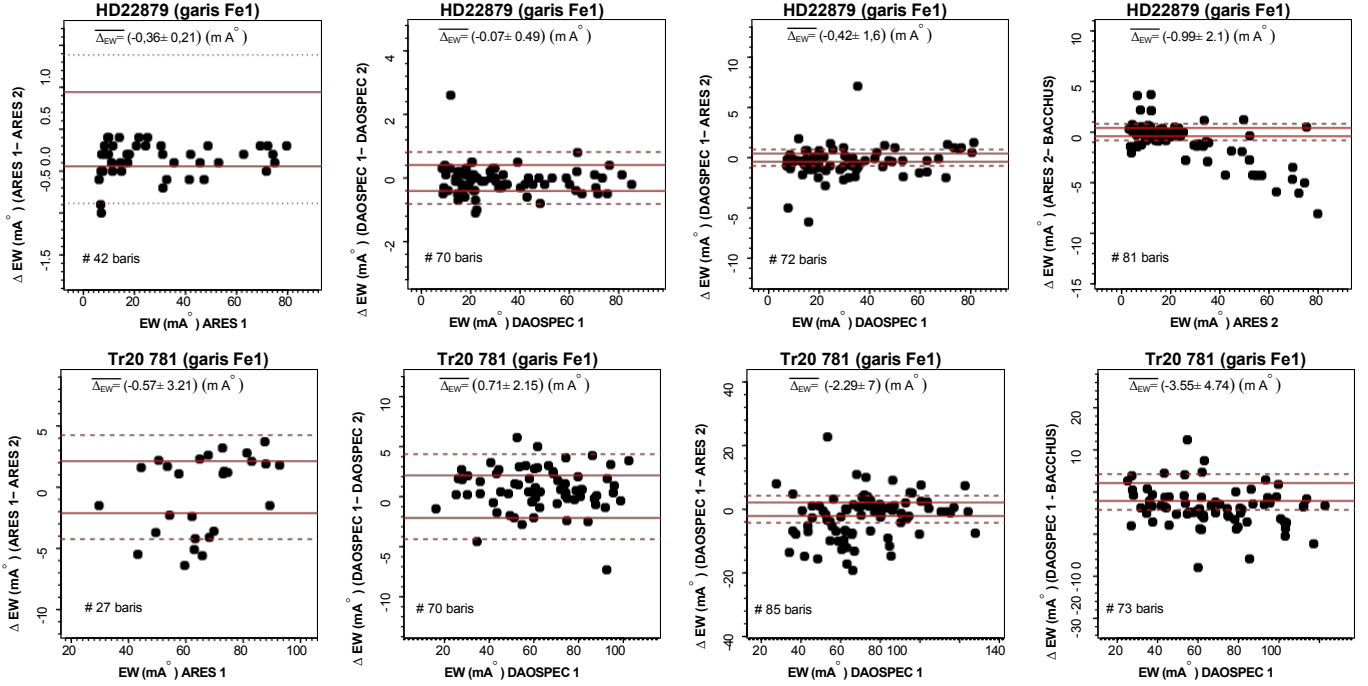
$\log g$ sebagian besar bintang acuan berada dalam rentang $\pm 150 \text{ K}$ dan $\pm 0,30 \text{ dex}$. Jika ya, hasil Node dianggap akurat. Jika tidak, hasil Node diabaikan. Pada praktiknya, hanya hasil dari satu Node yang diabaikan.

Untuk iDR1, bobot tidak dihitung dan ruang parameter tidak dibagi menjadi tiga wilayah. Hasil individual kemudian digabungkan dengan menggunakan median sederhana. Perbandingan dengan parameter dasar dari bintang-bintang patokan memastikan bahwa parameter akhir juga berada dalam skala yang ditentukan oleh parameter tersebut, sesuai dengan tingkat akurasi yang diadopsi di atas ($\pm 150 \text{ K}$ untuk T_{eff} dan $\pm 0,30 \text{ dex}$ untuk $\log g$).

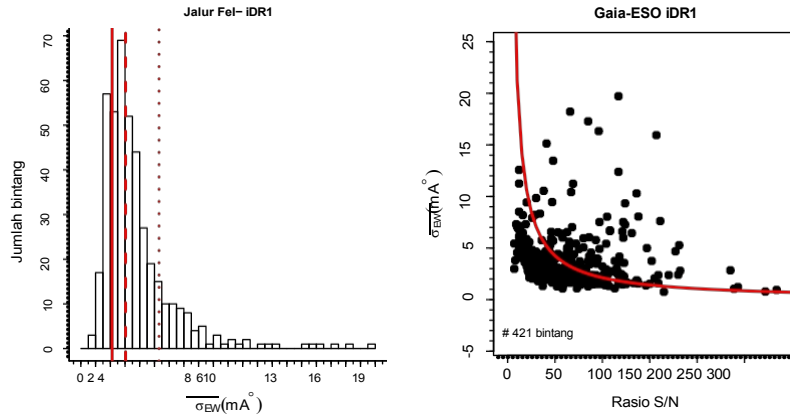
B.2.2. Gugus kalibrasi

Jumlah gugus kalibrasi yang tersedia selama analisis iDR1 juga lebih sedikit. Empat gugus bola kalibrasi

²⁷ Bintang-bintang itu adalah: Bet Vir, Eta Boo, Gam Sge, Ksi Hya, HD 22879, HD 107328, HD 122563, dan HD 140283.



Gambar B.3. Perbandingan antara lebar ekuivalen Fe I yang diukur dengan berbagai simpul untuk dua bintang. *Baris atas*: bintang HD 22879, bintang patokan yang digunakan untuk kalibrasi dengan $T_{\text{eff}} = 5786$ K, $\log g = 4.23$, dan $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.90$. Median S/N dari spektrumnya adalah 239 dan 283 untuk bagian biru dan merah dari spektrum tersebut. Garis merah menunjukkan ketidakpastian 1σ (garis solid) dan 2σ (garis putus-putus) dari EW yang dihitung dengan rumus, dengan menggunakan $FWHM_{\text{Cayrel}} (1988) = 0.190 \text{ \AA}$, ukuran piksel = 0.0232 \AA , dan $S/N = 260$. *Baris bawah*: sebuah rumpun raksasa dalam gugus terbuka Trumpler 20 (Trumpler 20 MG 781 dalam sistem penomoran McSwain & Gies 2005), dengan $T_{\text{eff}} = 4850$ K, $\log g = 2.75$, dan $[\text{Fe}/\text{H}] = +0.15$. Median S/N spektrumnya adalah 36 dan 68 untuk bagian biru dan merah dari spektrum tersebut. Garis merah menunjukkan tipikal 1σ (garis solid) dan 2σ (garis putus-putus) ketidakpastian EW dihitung dengan rumus Cayrel (1988), dengan menggunakan $FWHM = 0.190 \text{ \AA}$, ukuran piksel = 0.0232 \AA , dan $S/N = 50$. Pada setiap panel, perbedaan rata-rata EW dan distribusinya juga diberikan.



Gambar B.4. *Panel kiri*: histogram σ_{EW} per bintang, dengan memperhitungkan pengukuran dari semua node. Juga ditunjukkan garis-garis yang mengindikasikan ketidakakuratan 2σ yang dihitung dengan rumus Cayrel (1988) untuk $S/N = 40$ (garis putus-putus pada 5.31 mÅ), $S/N = 70$ (garis putus-putus pada 3.04 mÅ), dan $S/N = 100$ (garis padat pada 2.12 mÅ). *Panel kanan*: ketergantungan σ_{EW} terhadap S/N. Juga ditunjukkan nilai 2σ yang diharapkan yang diberikan oleh rumus Cayrel (1988) (sebagai garis merah).

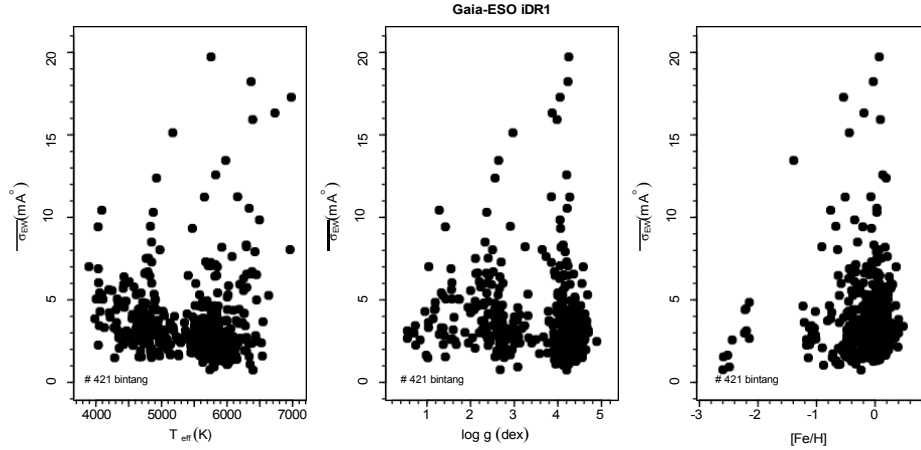
(NGC 1851, NGC 2808, NGC 4372, dan NGC 5927) dan satu gugus terbuka kalibrasi (NGC 6705) dianalisis. Bintang-bintang tipe AB NGC 6705 sebagian besar ditemukan sebagai bintang-bintang yang berotasi cepat. Hasil untuk bintang-bintang dianggap tidak pasti dan tidak diikutsertakan dalam kontrol kualitas. Pada Gambar B.7, kami menunjukkan parameter hasil rekomendasi akhir dari bintang-bintang yang diamati di medan gugus dibandingkan dengan isokron. sangat bagus, memberikan kepercayaan pada parameter akhir yang direkomendasikan iDR1.

B.2.3. Dispersi dari metode ke metode

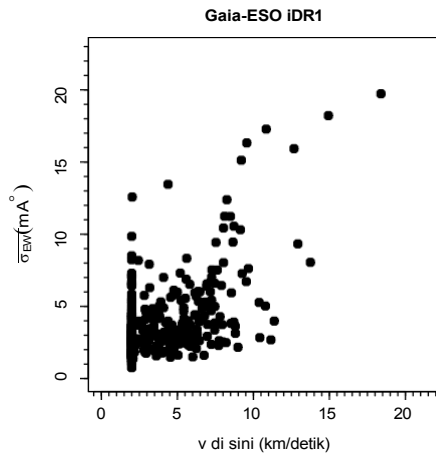
Sedangkan untuk iDR2, kami membandingkan hasil dari Node yang berbeda dan mengukur dispersi metode-ke-metode dari setiap parameter

menggunakan deviasi absolut median (MAD) yang terkait. MAD didefinisikan sebagai median dari deviasi absolut dari median data.

Untuk hasil akhir GESvIDR1Final, median dari dispersi antar metode adalah 78 K , 0.17 dex , dan 0.07 dex untuk T_{eff} , $\log g$, dan $[\text{Fe}/\text{H}]$. Nilai-nilai ini sedikit lebih besar daripada iDR2. Kuartil ketiga distribusi ini memiliki nilai 108 K , 0.23 dex , dan 0.10 dex untuk T_{eff} , $\log g$, dan $[\text{Fe}/\text{H}]$, secara berurutan. Histogram dari dispersi ini ditunjukkan pada Gambar B.8. Untuk T_{eff} , dispersi berada dalam ekspektasi yang wajar. Untuk gravitasi permukaan, dispersi mungkin terlalu tinggi. Namun, gravitasi permukaan adalah kuantitas yang sangat sulit untuk diperoleh untuk



Gambar B.5. Rata-rata dari semua deviasi standar garis Fe I pada sebuah bintang, $\sigma_{(EW)}$, sebagai fungsi parameter atmosfer.



Gambar B.6. Rata-rata dari semua deviasi standar garis Fe I dalam sebuah bintang, $\sigma_{(EW)}$, sebagai fungsi kecepatan rotasi bintang.

bintang medan dengan jarak yang tidak pasti. Untuk metalitas, ada kesepakatan yang sangat baik di antara para Node.

B.2.4. Parameter atmosfer yang direkomendasikan

Berdasarkan perbandingan hasil Node individu dengan kalibrator, seperti yang ditunjukkan di atas, skema berikut ini telah diadopsi untuk menghitung nilai parameter atmosfer yang direkomendasikan dari bintang tipe FGK dengan spektrum UVES untuk iDR1:

1. Keakuratan hasil Node dinilai dengan menggunakan delapan bintang patokan yang tersedia sebagai referensi, dengan toleransi ± 150 K dan ± 0.30 dex, masing-masing untuk T_{eff} dan $\log g$.
2. Uji konsistensi lebih lanjut dari hasil Node s dilakukan dengan menggunakan cluster kalibrasi.
3. Node yang gagal mereproduksi parameter atmosfer referensi dari sebagian besar bintang acuan, atau yang menghasilkan hasil yang tidak dapat diandalkan untuk gugus kalibrasi, akan diabaikan.
4. Nilai median dari hasil yang divalidasi diadopsi sebagai nilai yang direkomendasikan untuk parameter tersebut. Nilai median harus meminimalkan efek dari hasil outlier.
5. MAD dihitung untuk mengukur dispersi antar metode (presisi analisis) dan diadopsi sebagai indikator ketidakpastian.
6. Jumlah hasil yang menjadi dasar nilai yang direkomendasikan juga dilaporkan.

Tabel B.2. Hasil analisis data iDR1.

Tipe Gaia-ESO	Jumlah bintang	Komentar
Bintang yang dianalisis	508	
Bintang dengan hasil	421	
GES_MW	271	Ladang Bima Sakti.
GES_CL	98	Bidang cluster terbuka.
GES_SD	52	Target kalibrasi.

Catatan. Jumlah bintang tipe FGK yang diamati dengan UVES dan dengan parameter atmo-sferik dalam rilis internal GESviDR1Final.

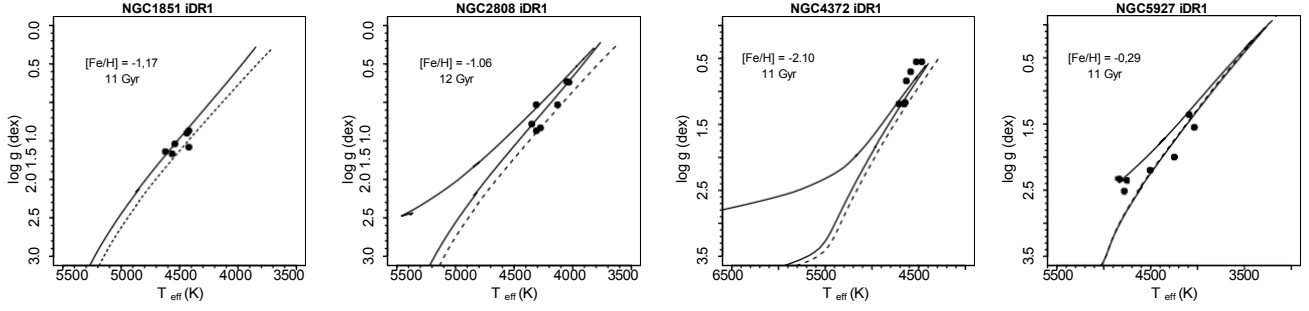
Tabel B.2 merangkum jumlah bintang yang parameter telah ditentukan dalam analisis verifikasi sains dan merupakan bagian dari rilis internal GESviDR1Final. Analisis sebagian kecil bintang ($\sim 17\%$) tidak dapat diselesaikan karena berbagai alasan (misalnya, rotasi tinggi, tanda tangan bergaris ganda, S/N terlalu rendah).

Perbandingan nilai yang direkomendasikan untuk parameter atmosferic bintang-bintang patokan (yang dihitung seperti yang dijelaskan di atas) dengan nilai referensi diperlihatkan pada Gambar B.9. Semua nilai T_{eff} yang direkomendasikan berada dalam rentang ± 150 K dari nilai referensi. Kesepakatan yang baik juga ada untuk $\log g$ (dalam $\pm 0,30$ dex), kecuali untuk HD 140283, sebuah subgiant yang miskin logam (dua spektrum bintang ini dianalisis secara terpisah sehingga muncul dua kali dalam plot). Nilai gravitasi untuk bintang-bintang yang miskin logam diketahui dipengaruhi oleh efek NLTE (lihat, misalnya, Bergemann dkk. 2012), oleh karena itu, tidak mengherankan jika hasil analisis berbasis LTE yang ditampilkan di sini berbeda jika dibandingkan dengan nilai referensi, karena nilai referensi tidak bergantung pada spektroskopi. Hasil yang disertakan dalam GESviDR1Final untuk bintang-bintang yang miskin logam harus digunakan dengan hati-hati. Nilai $[\text{Fe}/\text{H}]$ yang direkomendasikan sesuai dengan nilai referensi dalam rentang $\pm 0,15$ dex.

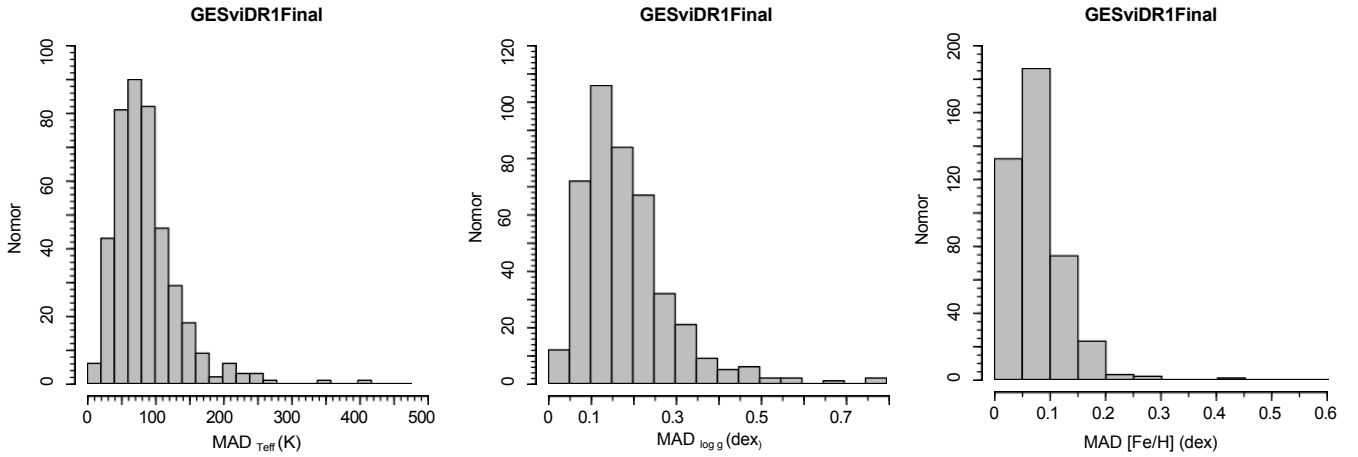
B.3. Kelimpahan

Sedangkan untuk parameter atmosfer, kelimpahan unsur dihitung dengan cara yang berbeda untuk set data iDR1 dan iDR2.

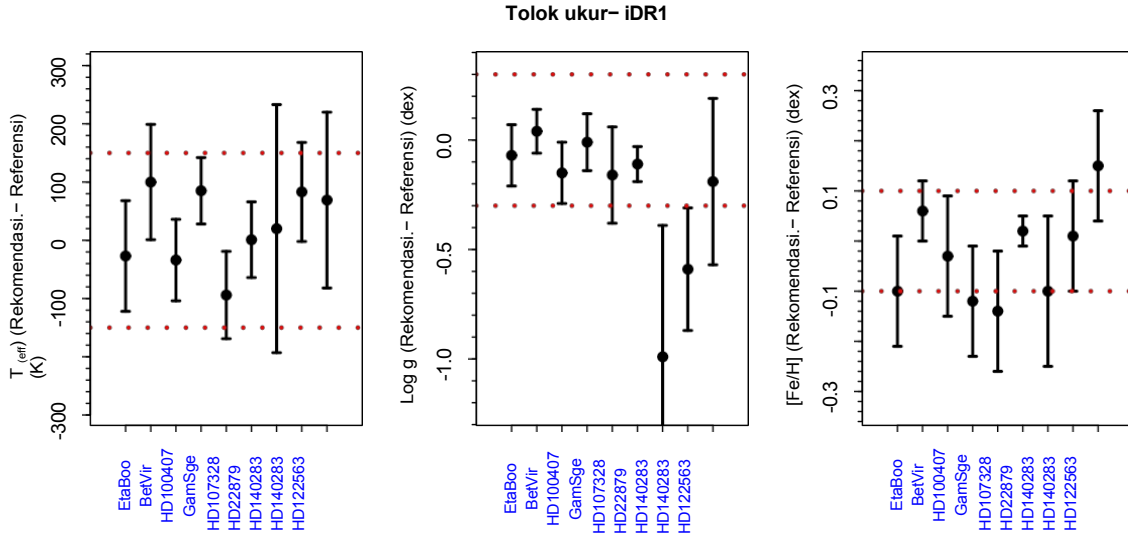
Beberapa penentuan kelimpahan dilakukan. Semua Node yang memiliki perangkat untuk penentuan kelimpahan melakukan analisis secara paralel untuk semua bintang. Untuk iDR1, para Node diminta untuk menghitung kelimpahan dengan menggunakan dua set parameter atmosfer untuk setiap bintang, yaitu: i) parameter atmosfer yang berasal dari Node itu sendiri; dan ii) set parameter atmosfer yang direkomendasikan, yang dihitung seperti yang telah dijelaskan di atas.



Gambar B.7. Parameter yang direkomendasikan untuk bintang-bintang dalam gugus kalibrasi iDR1 pada bidang $T_{\text{eff}} - \log g$. Tidak ada upaya yang dilakukan untuk mengidentifikasi bintang-bintang yang bukan anggota. Plot-plot tersebut mencakup seluruh bintang yang diamati di bidang gugus. Usia, metalitas, dan isokronya sama dengan yang tertera pada Gambar 9.



Gambar B.8. Histogram menunjukkan distribusi dispersi antar metode dari parameter atmosfer 421 bintang yang menjadi bagian dari GESviDR1Final. *Kiri:* dispersi T_{eff} . *Tengah:* dispersi $\log g$. *Kanan:* dispersi $[\text{Fe}/\text{H}]$.

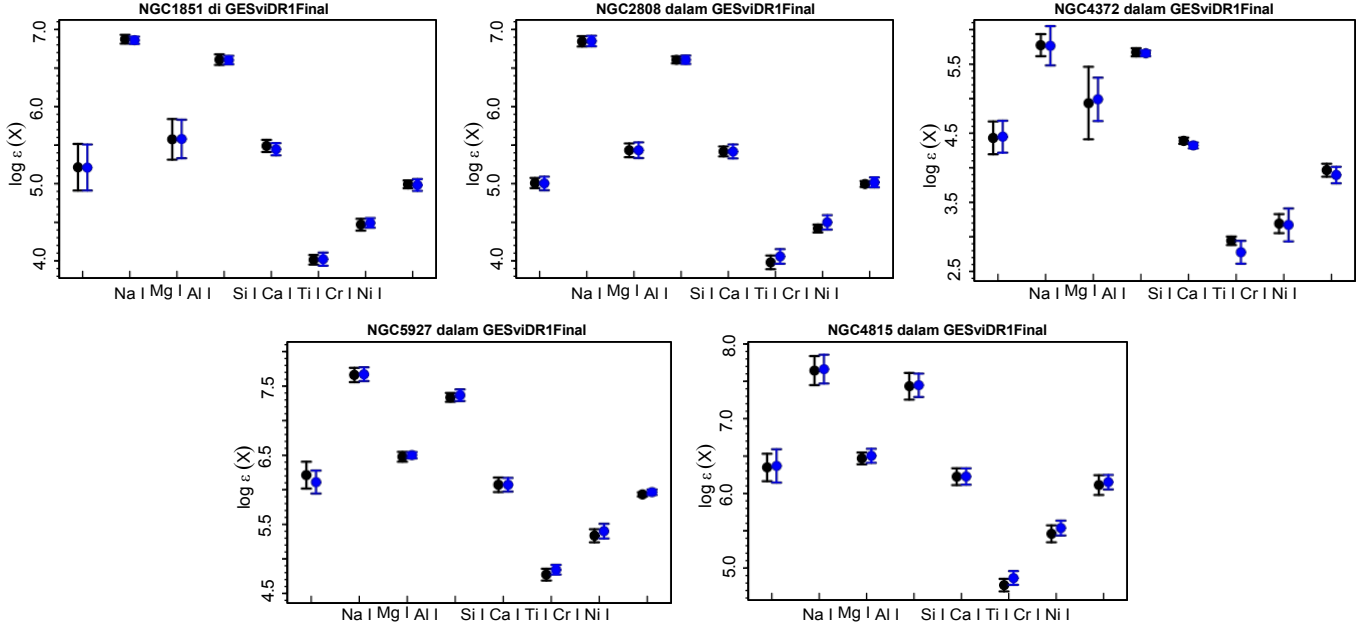


Gambar B.9. Perbedaan antara nilai T_{eff} , $\log g$, dan $[\text{Fe}/\text{H}]$ yang direkomendasikan untuk bintang-bintang patokan GESviDR1Final dan nilai referensi. Bilah galat adalah dispersi antar metode. Bintang-bintang diurutkan berdasarkan penurunan $[\text{Fe}/\text{H}]$ (dari *kiri ke kanan*). Garis merah putus-putus menunjukkan batas ± 150 K untuk T_{eff} , $\pm 0,30$ dex untuk $\log g$, dan $\pm 0,10$ dex untuk $[\text{Fe}/\text{H}]$. Bintang HD 140283 muncul dua kali karena dua spektrum yang berbeda dari bintang ini (berdasarkan eksposur yang berbeda) dihasilkan dan dianalisis secara terpisah.

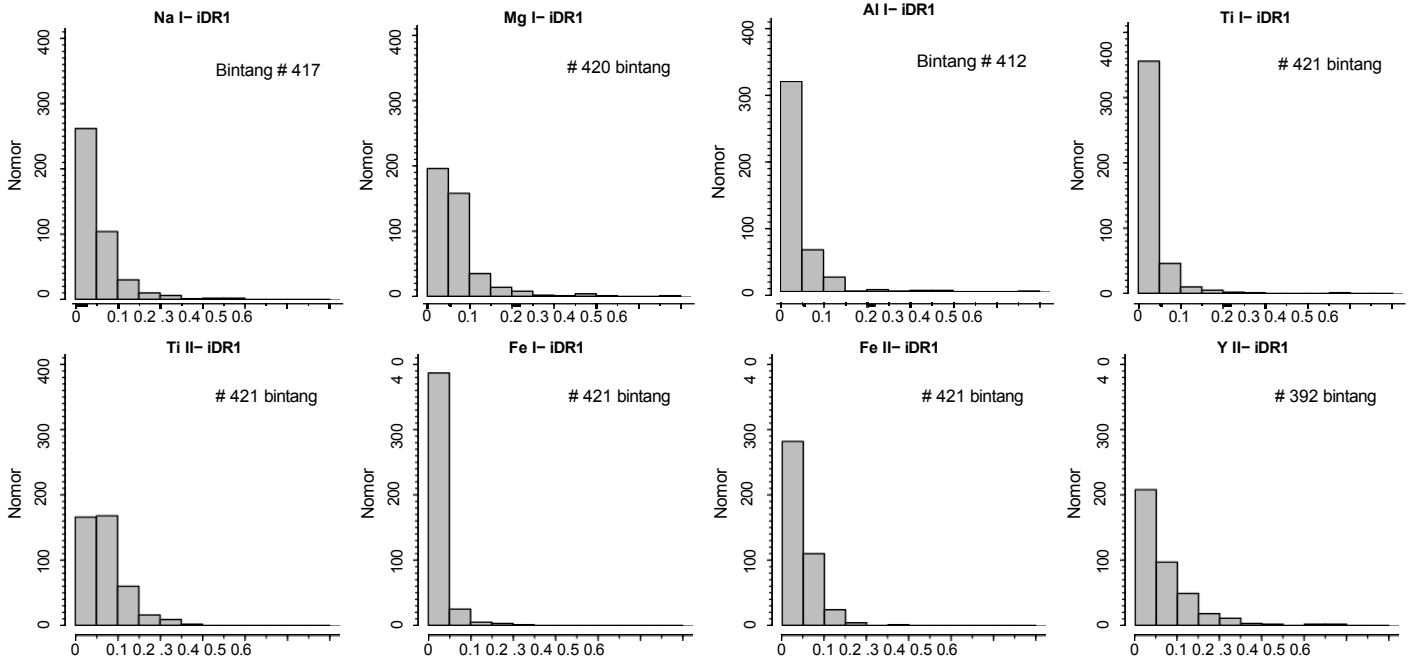
Kami kemudian menghitung median dari beberapa penentuan untuk masing-masing dari kedua kasus ini. Untuk iDR1, kami tidak menyeragamkan kelimpahan baris per baris, melainkan hanya nilai akhir dari setiap unsur di setiap bintang. Pada Gambar B.10, kami membandingkan dua set kelimpahan untuk beberapa elemen pada bintang-bintang dalam gugus bola dan gugus terbuka. Dari plot ini terlihat jelas bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara kelimpahan akhir dihitung dengan dua set parameter atmosfer.

Selain itu, terlihat jelas bahwa sebaran kelimpahan antar bintang tampaknya tidak meningkat ketika menggunakan salah satu set parameter atmosfer. Hal ini memberikan keyakinan pada pendekatan yang diadopsi di sini, yaitu memiliki beberapa kelimpahan yang ditentukan oleh kelompok-kelompok yang berbeda dan mengadopsi nilai median sebagai nilai terbaik yang direkomendasikan.

Untuk set akhir kelimpahan yang direkomendasikan yang disertakan dalam GESviDR1Final, kami memutuskan untuk mengadopsi median dari hasil



Gambar B.10. Perbandingan dua set kelimpahan bintang-bintang hasil kalibrasi gugus bola dan gugus terbuka yang termasuk dalam iDR1. Poin-poin yang ada merupakan rata-rata dari seluruh bintang yang diamati di area gugus tertentu. Tidak ada upaya yang dilakukan untuk mengidentifikasi bintang-bintang yang bukan anggota. Simbol berwarna hitam adalah kelimpahan yang dihitung dengan parameter atmosfer yang direkomendasikan. Simbol berwarna biru adalah kelimpahan yang dihitung dengan parameter atmosfer Node. Bilah kesalahan adalah kesalahan standar dari rata-rata.



Gambar B.11. Histogram dengan penyebaran antar metode dari spesies terpilih yang termasuk dalam hasil iDR1.

MAD dihitung dengan menggunakan masukan *nilai* T_{eff} , $\log g$, $[\text{Fe}/\text{H}]$, dan ϵ . MAD sekali lagi diadopsi sebagai indikator ketidakpastian (karena ini adalah pengukuran presisi yang disepakati oleh beberapa metode). Berikut ini adalah 16 elemen yang dianalisa dan kelimpahannya untuk setidaknya beberapa bintang yang termasuk dalam GESviDR1Final: Li, O, Na, Mg, Al, Si, S, Ca, Ti, Cr, Fe, Ni, Zn, Y, Zr, dan Ce. Kecuali Li, O, S, Zn, Zr, dan Ce, semua kelimpahan telah ditentukan oleh setidaknya tiga Simpul yang berbeda. Unsur-unsur yang memiliki struktur hiperfine yang penting tidak disertakan, karena data semacam ini tidak termasuk dalam daftar garis *Gaia-ESO* (versi 3.0) ketika kelimpahan dihitung.

B.3.1. Dispersi dari metode ke metode

Dispersi kelimpahan dari metode ke metode dapat digunakan sebagai indikator ketepatan hasil yang diperoleh. Pada Gambar B.11, kami menunjukkan histogram MAD dari beberapa elemen yang dipilih. Kuartil ketiga dari distribusi dispersi antar metode sama dengan atau di bawah 0,05 dex untuk elemen

ments: Al I, Ti I, Fe I, dan Ni I. Kuartil ketiga dari dispersi adalah antara 0,06 dan 0,10 dex untuk elemen lainnya dengan pengukuran multi-pel: Na I, Mg I, Si I, Ca I, Ti II, Cr I, Cr II, dan Fe II. MAD diadopsi sebagai ketidakpastian yang umum.